الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التقرير ITU-R SM.2424-0

(2018/06)

تقنيات القياس والتكنولوجيات الجديدة فيما يخص الرصد الساتلي

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REP/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2019

© ITU 2019
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التقرير ITU-R SM.2424-0

تقنيات القياس والتكنولوجيات الجديدة فيما يخص الرصد الساتلي

(2018)

1 المقدمة

يوفر كتيب الاتحاد بشأن مراقبة الطيف معلومات مفصلة عن قياس معلمات الإشارات والإجراءات الأساسية لمراقبة الطيف، ولكنه لا يتضمن وصف تقنيات القياس المتقدمة والتكنولوجيات الجديدة للرصد الساتلي. والغرض من هذا التقرير هو تقديم وصف شامل للوظائف اللازمة لمحطات الرصد الساتلي، والمتطلبات التقنية ذات الصلة لحلول الرصد الجديدة، كتوجيه منهجي وبديهي للإدارات التي ترغب في إنشاء قدرات الرصد الساتلي.

وعند إعداد هذا التقرير، تم الرجوع إلى الوثائق التالية للاتحاد المتعلقة بمراقبة الطيف:

- التوصية ITU-R RA.769 – معايير الحماية المستعملة في القياسات الفلكية الراديوية
- التوصية ITU-R SM.1600 – تعرف الهوية التقني للإشارات الرقمية
- تقرير اللجنة الأوروبية للاتصالات الراديوية رقم 171 "أثر البث غير المطلوب من سواتل IRIDIUM على عمليات خدمة الفلك الراديوي في النطاق MHz 1613,8-1610,6"
- طبعة عام 2011 من كتيب الاتحاد بشأن مراقبة الطيف.

الوثائق الأخرى:

Reconstruction of the Satellite Orbit via Orientation Angles (Journal for Geometry and Graphics, Volume 4 (2000)، من تأليف A. M. Farag and Gunter Weiss.

2 المصطلحات والتعاريف

8PSK	إبراق ثماني بزحزحة الطور (*Eight state phase shift keying*)
16 QAM	تشكيل الاتساع التربيعي بعدد 16 حالة (*Sixteen state quadrature amplitude modulation*)
AOA	زاوية الوصول (*Angle of arrival*)
BPSK	إبراق اثنيني بزحزحة الطور – إبراق بزحزحة الطور يتألف من حالتين (*Binary phase shift keying – two state phase shift keying*)
CDMA	نفاذ متعدد بتقسيم شفري (*Code division multiple access*)
CW	موجة مستمرة (*Continuous wave*)
DVB-CID	تحديد هوية الموجات الحاملة لأنظمة DVB (*DVB Carrier-Identification*)
e.i.r.p.	القدرة المشعة المتناحية المكافئة (*equivalent isotropic radiated power*)
EVM	شدة متجه الأخطاء (*Error vector magnitude*)
FDMA	نفاذ متعدد بتقسيم التردد (*Frequency division multiple access*)
FDOA	اختلاف تردد الوصول (*Frequency difference of arrival*)

LDPC اختبار التعادلية منخفض الكثافة – شفرة تصحيح الخطأ الخطي
(*Low density parity check – a linear error correcting code*)

pfd كثافة تدفق القدرة، بقيمة dBW/m^2 في عرض النطاق المعني
(*Power flux density, dBW/m^2 in the applicable bandwidth*)

POA قدرة الوصول (*Power of arrival*)

RS تشفير ريد سولومون (*Reed Solomon coding*)

SDMA نفاذ متعدد بتقسيم المكان (*Space-division multiple access*)

SOA معمارية موجهة نحو الخدمة (*Service oriented architecture*)

spfd كثافة تدفق القدرة الطيفية، بوحدات $dBW/m^2/Hz$ (*Spectral power flux density, $dBW/m^2/Hz$*)

TCA وقت الاقتراب الأقرب (*Time of closest approach*)

TDMA نفاذ متعدد بتقسيم الزمان (*Time division multiple access*)

TDOA اختلاف زمن الوصول (*Time difference of arrival*)

Turbo شفرات التصحيح الأمامي للأخطاء عالية الأداء (*High-performance forward error correction codes*)

QPSK إبراق تربيعي بزحزحة الطور – إبراق بزحزحة الطور يتألف من أربع حالات
(*Quadrature phase shift keying – four state phase shift keying*)

3 أهداف الرصد الساتلي

الهدف من إدارة الطيف هو تحقيق الكفاءة القصوى في استعمال الطيف، وتقليل التداخل إلى أدنى حد، وإنهاء الاستعمال غير المرخص به وغير السليم للطيف. وتدعم مراقبة الطيف عملية إدارة الطيف. وتتطلب مراقبة الخدمات الراديوية الفضائية نُهجاً وتقنيات مختلفة مقارنة بالمراقبة الراديوية للأرض. ولهذا السبب، من المهم أن تنشئ الإدارات محطات الرصد الساتلي تعمل بشكل كامل.

وتنطوي عملية الرصد الساتلي على هدفين، هما:

– الهدف 1: تقييم استعمال المورد الساتلي:
  - مستوى الموجة الحاملة والمرسل المستجيب؛
  - شغل الموقع المداري؛
  - شغل الترددات؛
  - الموقع المداري وتخصيص الترددات (على الاستعمال طويل الأجل)؛
  - كثافة تدفق القدرة ومعلمات الامتثال التقنية الأخرى؛
  - تغطية الحزمة.

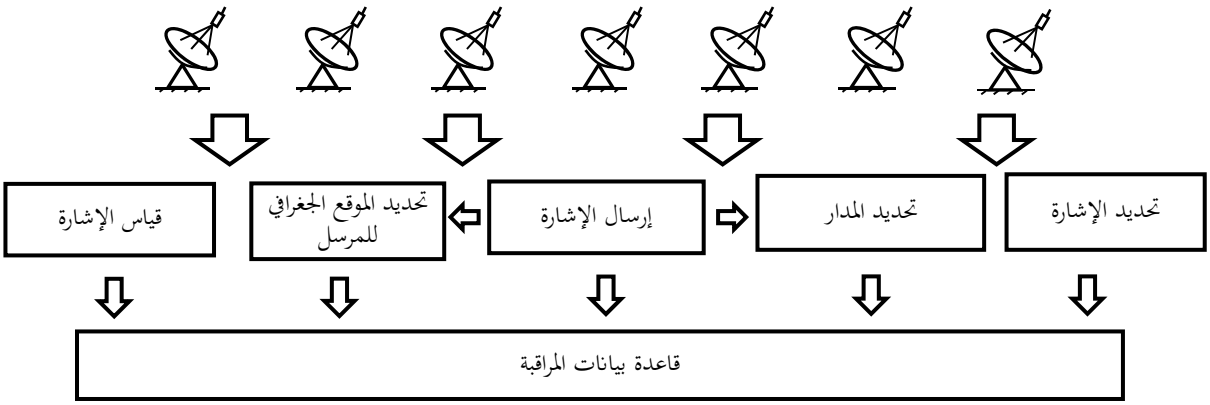
– الهدف 2: كشف وتسوية حالات التداخل:
  - تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات المسببة للتداخل الموجودة على سطح الأرض؛
  - تحديد ما إذا كانت المرسلات المسببة للتداخل متنقلة أو ثابتة؛
  - الكشف عن شبكات الاتصالات الساتلية المسببة للتداخل وإجراء تحليل تقني لها؛
  - تحديد الموقع الدقيق لمصادر التدخل الأرضية؛
  - بحث معلمات البث وشروط التراخيص والتحقق منها؛
  - إزالة التداخل.

4 وظائف أنظمة المراقبة

يصف هذا القسم الوظائف الأساسية لمحطة الرصد الساتلي. ويبين الشكل 1 هيكل محطة مراقبة ثابتة نمطية.

الشكل 1

هيكل محطة مراقبة ثابتة نمطية



1.4 استقبال الإشارة

إن أكثر أنواع الهوائيات شيوعاً لمراقبة الإشارات من السواتل هو الهوائي المكافئي لأنه يمكن توجيهه إلى الساتل المعني ويمكن استعماله لتتبع السواتل. ويحدد حجم الهوائي كسب الهوائي، ولذا ينبغي أن يكون كبيراً بما فيه الكفاية لاستقبال الإشارات بشكل سليم. وتتطلب مخططات التشكيل ذات المرتبة الأعلى نسب *C/N* أعلى. ويمكن حساب موقع المدار الساتلي بالتقريب باستعمال زاوية السمت وزاوية ارتفاع الهوائي. ويعرض محلل الطيف المتصل بالهوائي الطيف المستقبل.

وتغير الهوائيات ذات الصفائف المطاوَرة تشكيل أنماط الإشعاع عن طريق تعديل طور الإشارة التي تغذي العناصر المشعة في المصفوفة. وهو ما ييسر إجراء مسح ضوئي للعديد من السواتل داخل قوس مكاني كبير في وقت واحد تقريباً. ولذلك، قد تكون هوائيات الصفائف المطاوَرة خياراً جيداً لمراقبة إشارات سواتل متعددة مستقرة بالنسبة إلى الأرض.

ويرد وصف لمتطلبات أنظمة الهوائيات المستعملة في كل من السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض وغير المستقرة بالنسبة إلى الأرض بمزيد من التفصيل في الفقرات 3.3.1.5 إلى 6.3.1.5 من كتيب دليل مراقبة الطيف الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية، وتُعرض أمثلة على استعمال الهوائيات في الفقرة 1.1.6.1.5.

ونطاقات الترددات للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض التي تراقبها عادة محطة الرصد الساتلي هي نطاقات التردد UHF وL وS وC وX وKu وKa. ونطاقات الترددات للسواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض التي تراقبها عادة محطة الرصد الساتلي هي نطاقات التردد UHF وL وS وX وKu وKa. ومع تزايد استعمال الاتصالات الساتلية للإنترنت عريض النطاق، يستمر تزايد الطلب على عرض النطاق، وسوف تمتد نطاقات التردد الخاصة بالمراقبة إلى النطاق Q وما فوق.

2.4 قياس الإشارات

ينبغي أن تكون أنظمة الاستقبال الحديثة مزودة بالقدرة على أداء القياسات في الوقت الفعلي، والوقت غير الفعلي (يتم تحليل البيانات في وقت لاحق، فيما هو معروف باسم المعالجة اللاحقة)، وفي الوقت الثابت. وينبغي أن يكون للنظام عرض نطاق للقياس أوسع من الموجات الحاملة الساتلية النمطية التي يجري تقييمها. ومع ذلك، ينبغي للنظام، كحد أدنى، أن يستوعب عروض نطاق

قياس أكبر من 100 MHz. ويجب أن يكون النظام قادراً أيضاً على تسجيل بيانات IQ عند عرض النطاق الترددي الكامل للإشارة. وتدعم تسجيلات IQ المعالجة اللاحقة وتحليل الإشارة.

وينبغي أن يقيس النظام المستقبل معلمات التردد الراديوي التالية في الوقت الفعلي:

- التردد المركزي؛
- تردد دوبلر؛
- كثافة تدفق القدرة في عرض النطاق المرجعي وإجمالي كثافة تدفق القدرة؛
- القدرة المشعة المتناحية المكافئة؛
- نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء، C/N_0؛
- عرض نطاق المرسل المستجيب وعرض نطاق الموجة الحاملة؛
- الطيف خارج النطاق؛
- نسبة الإشارة المستقبَلة إلى الضوضاء.

3.4 تحديد الإشارة

كما ذكر أعلاه، يمكن أن تستوعب بيانات IQ الواردة من نظام الاستقبال المعالجة اللاحقة وتحليل معلمات الإشارات. ومع عامل التشغيل المناسب، يمكن أن يسجل نظام الاستقبال الإشارة بمجرد كشفها بحيث يمكن حفظ خصائص الإشارة لتحليلها في المستقبل. ويمكن الرجوع إلى التوصية ITU-R SM.1600 – التحديد التقني للإشارات الرقمية، للاطلاع على إرشادات بشأن عملية تسجيل بيانات IQ وتحليلها. وينبغي أن يكون نظام الاستقبال قادراً على تحديد الخصائص التالية للإشارات:

- معدل الشفرة ومعدل الرمز.
- نمط التشكيل، أي QPSK، 8PSK، BPSK، 16QAM.
- التشفير عند المنبع ونمط تشفير القنوات (أي RS، Turbo، LDPC).
- النفاذ المتعدد، أي TDMA، FDMA، SDMA، CDMA.
- تحديد هوية الموجات الحاملة لأنظمة DVB. وهو محدد هوية فريد لتحديد مالك إشارة الساتل وفقاً للمعيار ETSI TS 103 129.

ويمكن استعمال المعلمات الإضافية المبينة أدناه لتحديد نظام الاتصالات:

- نمط بروتوكول الاتصالات، مثل IP، DCME.
- نظام الاتصالات، مثل SNG، DVB-S، DVB-S2، COMTECH.
- نمط شبكة الاتصالات، مثل SkyWAN، iDirect، LinkWay/LinkStar.

4.4 مراقبة الإشارات والإنذار

من أجل الكشف عن المرسلات غير المرخصة وتحديد الحالات الشاذة على جهاز مرسل مستجيب أو في عرض نطاق معين، ينبغي إجراء مراقبة للإشارات. وينبغي إجراء مقارنة مستمرة للانحراف بين المعلمات المقاسة والمعلمات (المتوقعة).

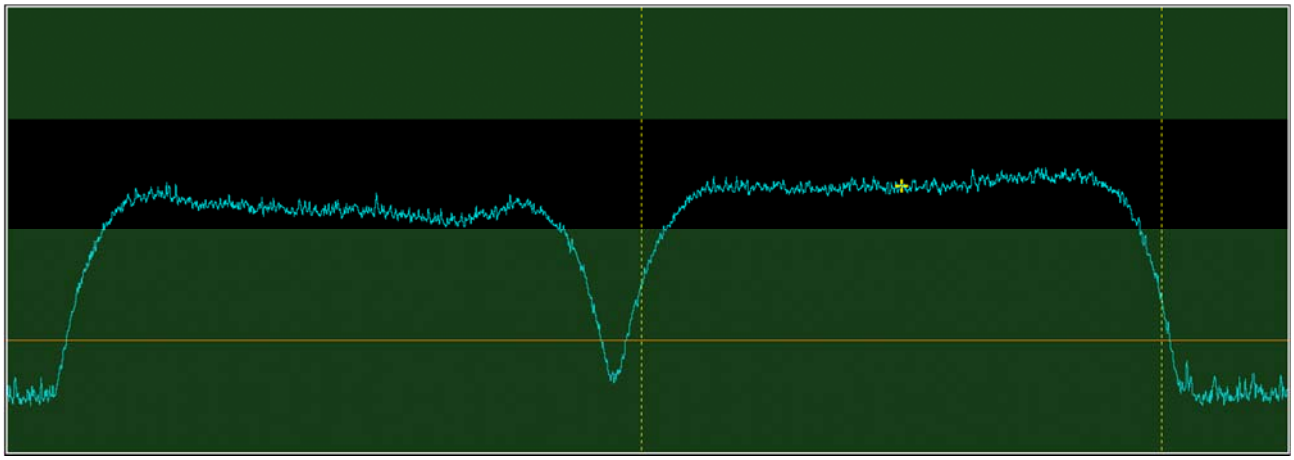
ويمكن أن يولد نظام المراقبة إنذاراً لإشعار المشغل عند تجاوز عتبة معينة. وترد في الشكل 2 أمثلة على مستويات إنذار قدرة الإشارة المنخفضة والعالية. وتستطيع أنظمة الرصد الساتلي الحديثة تحديد عتبات لمستوى القدرة المنخفض والعالي. وعند حدوث تجاوز

للمستوى المحدد، يمكن أن تتخذ البرمجية إجراءً تلقائياً لتوفير معلومات مفيدة لعمليات الساتل. ويرد في الشكل إشارتين إلى جانب مستويات الطاقة العالية والمنخفضة المرتبطة بها (مظللة).

ويمكن وضع حدود مماثلة لمختلف قياسات المعلمات مما يعطي للمشغل إنذارات في الوقت الفعلي بشأن تغير أوضاع التشغيل.

الشكل 2

مثال على مستوى إنذار قدرة إشارة منخفضة



ويمكن القيام بذلك يدوياً (لعدد قليل من الموجات الحاملة فقط) أو تلقائياً (لموجات حاملة متعددة) مما يوفر المراقبة على مدار الساعة طوال أيام الأسبوع. ويمكن البدء بمهام مثل تسجيل بيانات IQ وتصنيف التشكيل وإخطار مشغل المراقبة تلقائياً للمساعدة في تحديد الحالات الشاذة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن وضع نظام لتحديد الموقع الجغرافي وبدء تشغيله عند الكشف عن حدوث تداخل أو بث غير مرخص.

ويمكن استعمال المعلمات التالية للكشف عن أي حالة شاذة أو بث غير مرخص وإطلاق الإنذار:

- التردد المركزي
- عرض النطاق
- القدرة المشعة المتناحية المكافئة
- نسبة *S/N*
- التغيرات في مستوى ضوضاء النطاقات الحارسة
- خصائص التشكيل (معدل الرموز، EVM)
- يمكن أن يستعمل المشغل المخططات الطيفية لتصوير التداخل قصير المدة والتراكمات السريعة للفواصل الزمنية وإشارات الكنس.

5.4 تحديد الموقع الجغرافي لمرسلات موجودة على سطح الأرض

ينبغي تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات الموجودة على سطح الأرض بخوارزميات الترابط المتبادل باستعمال ساتل واحد أو اثنين أو ثلاثة.

ونظراً لقيود الخوارزميات والعوامل العديدة التي تؤثر على دقة قياس الموقع الجغرافي، فإن نتيجة تحديد الموقع الجغرافي تكون موقعاً من المرجح أن يكون فيه المرسل المسبب للتداخل متواجداً، وليس موقعاً محدداً بالضبط.

وعادة ما تعرض النتيجة في شكل منطقة بمعلمات على النحو المشار إليه أدناه:

- خط طول وخط عرض النقطة المركزية للمنطقة
- دقة الموقع الجغرافي الذي يمكن تمثيله في شكل إهليلجي بمحور كبير ومحور صغير وزاوية المنطقة بالنسبة إلى الشمال
- ما إذا كان المرسل مستقراً أو متحركاً.

6.4 إرسال الإشارات

يُستعمل نظام إرسال الإشارات لمحطة مراقبة راديوية فضائية أساساً لإرسال إشارة مرجعية من موقع بعيد معروف للمساعدة في تحسين دقة تحديد الموقع الجغرافي. وعادة ما تكون الإشارة المرجعية إشارة تمديد الطيف. وبسبب الخصائص الطيفية لإشارة تمديد الطيف، فمن الصعب كشفها وهي لا تسبب أي تداخل في إشارات المرسل المستجيب الخاص بالسواتل.

7.4 تحديد المدار

تؤثر دقة بيانات التقويم الفلكي للسواتل بشكل كبير على دقة تحديد الموقع الجغرافي. ويوصى بشدة باستعمال تقويم فلكي للسواتل بدقة تزيد عن 5 كيلومترات لتحديد الموقع الجغرافي.

وهناك ثلاث أساليب للحصول على التقويم الفلكي للسواتل. والطريقة الأولى هي الحصول على التقويم الفلكي للسواتل من مشغلي الإنترنت أو السواتل. ويكون التقويم الفلكي للسواتل الذي لدى المشغلين حديثاً ودقيقاً. والطريقة الثانية هي قياس التقويم الفلكي للسواتل باستعمال أساليب نشطة. والطريقة الثالثة هي قياس التقويم الفلكي للسواتل باستعمال أساليب منفعلة.

وعادة ما تعتمد الأساليب النشطة لتحديد التقويم الفلكي للسواتل باستعمال القياس الراديوي على إزاحة دوبلر أو قياس التداخل أو الرادار، وعادة ما تكون هناك حاجة إلى عدة مرسلات موزعة في مواقع مختلفة لإصدار إشارة بشكل مستمر إلى الساتل واستقبال نفس الإشارة من الساتل بشكل متزامن لعدة ساعات، ثم تحسب العناصر المدارية للساتل وكذلك التقويم الفلكي للساتل. كما يمكن استعمال التحديد المداري البصري.

غير أنه، عند مقارنة أساليب تحديد التقويم الفلكي النشطة، فإن الأسلوب المنفعل لتحديد التقويم الفلكي للساتل لا يتطلب إرسال إشارات إلى الساتل، وبالتالي يقلل احتمال تداخل الإشارات نفسها مع الساتل. ويستعمل هذا الأسلوب خطوط اختلاف زمن الوصول (TDOA) لثلاث محطات استقبال بعيدة على الأقل. ويتم نشر محطات الاستقبال هذه في مثلث يمتد مئات الكيلومترات، وتتم مزامنتها زمنياً بدقة على إشارات النظام العالمي لتحديد الموقع (GPS). وتُحسب قيم خطوط اختلاف TDOA عن طريق إجراء انحدار للنموذج المداري يدمج قيم خطوط اختلاف TDOA على مدار الوقت.

8.4 إشارات التوجيه

تستعمل إشارات التوجيه محطات مراقبة متنقلة لتحديد موقع ومشغل مرسل أرضي أو مصدر تداخل آخر يتداخل مع إشارات اتصالات ساتلية مرخصة. وتشمل التقنيات المستعملة عادة للتحقق من التداخل استعمال زاوية الوصول (AOA)، وقدرة الوصول (POA) والخوارزميات المترابطة لخطوط اختلاف TDOA. وتبدأ إشارات التوجيه بنتائج قياس تحديد الموقع الجغرافي للساتل التي تصف منطقة من الأرجح أن ينشأ التداخل منها. وتنجح عملية تكرارية باستعمال الأصول المتنقلة في تحديد موقع المرسل الأرضي. وترد نتائج البحث الأرضي والتأكيد أدناه:

- خطوط طول وخطوط عرض المرسل المستهدف (الموقع).
- مشغل المرسل المستهدف (تحديد الهوية).

9.4 التوثيق وقاعدة البيانات

يمكن تسجيل إجراءات المراقبة والنتائج في قاعدة بيانات تلقائياً لدعم تحليل الاتجاهات على المدى الطويل وتوثيق أثر التغيرات المقررة وأحداث التداخل. وتحتوي قاعدة البيانات على سجلات للبيانات المسجلة من أنواع مختلفة من العمليات والمرافق في محطات

المراقبة عبر المنطقة أو البلد. وإلى جانب ذلك، يمكن أيضاً أن تدعم إصدار تقارير منتظمة (يومية، أسبوعية) لدعم العمليات والصيانة العادية. ويمكن تخزين المعلمات الرئيسية التالية:

- بيانات المخطط الطيفي، بيانات I/Q.
- بيانات قياس الإشارات.
- بيانات تحديد الإشارات.
- بيانات تحديد الموقع الجغرافي.
- بيانات التحقق من التداخل.
- بيانات الفيديو والصوت.
- معلمات تشكيل المعدات أثناء المراقبة.
- توثيق العملية.
- سجل العمل.

10.4 تصوير بيانات الرصد

لبناء فهم لأداء نظام ساتلي مع مرور الوقت، يمكن تصوير قاعدة بيانات المراقبة عن طريق عرض البيانات في أشكال مختلفة بما في ذلك التحليل التقليدي للطيف، ومخططات الطيف، مخططات الشلالات، ومخططات الكوكبة (للإشارات التي تم فك تشكيلها)، فضلاً عن الخرائط الرقمية للبيانات المرجعية للمواقع. وتُظهر القياسات الدورية تغيرات في المعلمات على فترات زمنية قصيرة أو طويلة وتوفر نظرة ثاقبة على الاتجاهات وأثر العوامل الأخرى المرتبطة بأداء النظام (مثل الطقس والأحداث المحلية والتغييرات في المعدات وما إلى ذلك).

ويمكن رصد بيانات المراقبة بالأشكال التالية:

- عرض سمعي أو فيديوي (للبيانات التي تم فك تشفيرها من قبل).
- عرض بياني لبيانات الإشارات في الميدان المكاني والميدان الزمني وميدان الترددات وميدان التشكيل، مثلاً مخطط طيفي ومخطط شلالات ورسم بياني للكوكبة.
- عرض خريطة لنتيجة الموقع الجغرافي.
- عرض طريق القيادة لمركبة المراقبة.

11.4 الإحصاءات والتحليلات

لإدارة استعمال السواتل للطيف والمحطات الأرضية، تُستعمل قاعدة بيانات متكاملة للغاية لمقارنة بيانات القياس على النحو المبين في الفقرتين 2.4 و3.4 ببيانات تاريخية لغرض فهم العمليات العادية وتحديد منشأ البث غير المألوف. وتسمح البيانات على سبيل المثال بإجراء التحليلات التالية:

- تحديد البث غير المرخص والحالات الشاذة
- نشر حالات التداخل وشبكة الاتصالات الساتلية غير المرخصة (مثل المطاريف ذات الفتحات الصغيرة جداً (VSAT)) بما في ذلك ترددات التداخل وأنواع التشكيل وعدد حالات التداخل والتوزيع الجغرافي لمصادر التداخل
- الموقع المداري الساتلي
- شغل الترددات.

12.4 التحكم في المعدات

يمكن لمعدات المراقبة المحوسبة إجراء العديد من وظائف القياس الآلية وتيسير بناء قاعدة البيانات. ويمكنها أيضاً مساعدة المشغلين في إجراء عمليات يدوية والتحقق من المحطة والمحافظة عليها. ويمكن أن يوفر التحكم في المحطة عن بُعد وظيفة مماثلة. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن إقامة اتصالات في الوقت الفعلي بين مركبات المراقبة ومرافق المراقبة الثابتة من خلال الصوت أو الفيديو عبر توصيلات شبكة واسعة النطاق. ويمكن أيضاً أن توفر بيانات المراقبة من المحطات البعيدة/المتنقلة إلى المرافق الثابتة.

وبالنظر إلى وجود مجموعة كبيرة متنوعة من أجهزة المراقبة ومصنعيها، توجد معايير مختلفة لواجهة برمجة التطبيقات (API) وأشكال بيانات لأجهزة المراقبة هذه. وبسبب هذا التحكم الآلي والذكي في الأجهزة، قد لا يكون ذلك ممكناً. ومن أجل حل المشاكل، يمكن تقسيم الرصد الساتلي وفقاً للوظائف بدلاً من الأجهزة. ويجب أن يكون للأجهزة التي توفر نفس الوظيفة نفس واجهة برمجة التطبيقات. ولتيسير استعمال وظائف المراقبة بكفاءة، ينبغي أن تنظر الإدارات في تطبيق بنية موجهة للخدمة (SOA) في برمجية التحكم.

والبنية الموجهة للخدمة هي نموذج مكونات يربط بين الوحدات الوظيفية المختلفة لأجهزة المراقبة (تسمى الخدمات) من خلال واجهات واضحة المعالم بين هذه الخدمات. ويجب أن تكون الواجهة مستقلة عن منصة العتاد ونظام التشغيل ولغات البرمجة التي تنفذ الخدمة. ويسمح ذلك للخدمات المبنية على مجموعة متنوعة من الأنظمة بالتفاعل بطريقة موحدة وشاملة.

5 تقييم استعمال الموارد الساتلية

إن عدد المواقع المدارية للسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض محدود. ومن المهم التحقق مما إذا كانت المواقع والترددات المدارية للسواتل تُستعمل بشكل صحيح وما إذا كانت معلمات المراقبة الفعلية تمتثل لحدود قيمتها الاسمية، لدعم اختيار المواقع المدارية الجديدة للسواتل والتنسيق بين السواتل.

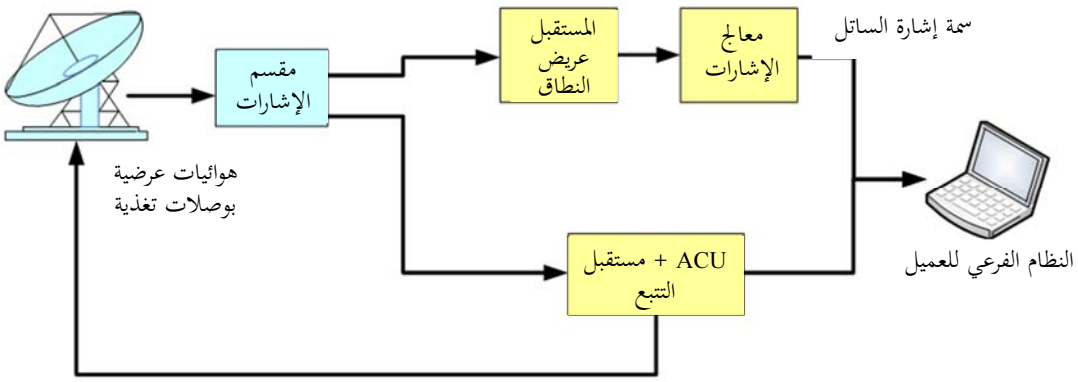
وبالإضافة إلى ذلك، مع تزايد استعمال السواتل الصغرى، من المرجح أن يزيد التداخل بين السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض والمعدات الأرضية. ومن المهم مراقبة معلمات السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض للمحافظة على الاستعمال العادي لكل من الاتصالات الساتلية والاتصالات الأرضية.

1.5 تكوين النظام

ويبين الشكل 3 مخططاً وظيفياً نمطياً لنظام الرصد الساتلي.

الشكل 3

مخطط وظيفي نمطي لنظام الرصد الساتلي



2.5 تقنيات القياس لرصد السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض

1.2.5 القياس الدقيق للمواقع المدارية للسواتل

وفقاً للقسم III من المادة **22** من لوائح الراديو والتذييل **30** من لوائح الراديو، فإن المحطات الفضائية على متن السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض التي تستعمل أي نطاق تردد موزع للخدمة الثابتة الساتلية أو الخدمة الإذاعية الساتلية يجب تكون لديها القدرة على الحفاظ على مواقعها ضمن ±1,0° من خط طول مواقعها الاسمية. غير أن المحطات الفضائية في الخدمة الإذاعية الساتلية على السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض العاملة في النطاق GHz 12,7-11,7 يجب أن تحافظ على مواقعها ضمن ±0,5° من خط طول مواقعها الاسمية.

ولذلك، من الضروري قياس الموقع المداري الحالي على مدى 12 ساعة على الأقل ومقارنته بالموقع المداري الاسمي للساتل. ويجب تسجيل الفروق الأكبر من الحدود المذكورة أعلاه.

2.2.5 قياس درجة شغل الطيف

تشير درجة شغل الطيف إلى الاستعمال الفعلي لمرسل مستجيب أو في عرض نطاق معين. وينبغي تنفيذ الإجراء التالي.

- توجيه الهوائي نحو ساتل مستقر بالنسبة إلى الأرض أو موقع مداري؛
- إجراء قياس للإشارة في عرض نطاق معين، انظر الفقرة 2.4. وينبغي إجراء قياسات الإشارات تلقائياً بأنظمة رصد السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛
- تسجيل نتيجة قياس الإشارات في قاعدة البيانات؛
- عن طريق استعمال الأوامر المتاحة في قاعدة البيانات، يمكن حساب درجة شغل الطيف لنطاقات التردد المختلفة في فترات زمنية مختلفة حسب الحاجة. وإلى جانب ذلك، إذا كانت درجة شغل الطيف في موقع مداري قريبة من الصفر على المدى الطويل، يمكن تحديد الموقع المداري على أنه موقع مداري خامل يمكن استعماله لطلب التسجيل لدى الاتحاد.

وإذا كانت هناك عدة سواتل تتقاسم موقع مداري واحد، سيكون من الصعب تمييز الطيف من ساتل إلى ساتل، ما لم تكن خطة الاستقطاب والمرسل المستجيب لكل ساتل معروفة.

3.2.5 الكشف عن البث غير المرخص

للكشف عن البث غير المرخص أو الحالات الشاذة في مرسل مستجيب أو في عرض نطاق معين، ينبغي قياس معلمات الإشارات (كما هو موصوف في الفقرة 2.4) تلقائياً ومقارنتها باستمرار بالمعلمات الاسمية (المتوقعة).

وفي حالات البث غير المرخص به ينبغي بذل جهود لتحديد خصائص المعلمات الداخلية للإشارة، انظر الفقرة 3.4.

وبالإضافة إلى ذلك، وفقاً للقسم V من المادة **21** من لوائح الراديو، ينبغي مقارنة كثافة تدفق القدرة المقيسة من بث غير سليم بالحدود التي ينص عليها الاتحاد والحد الأقصى لكثافة تدفق القدرة الاسمية الذي يطبقه مشغل الساتل.

3.5 تقنيات القياس لرصد السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

1.3.5 تحديد السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض

إن تحديد السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض ضروري أثناء قياسات درجة شغل النطاقات الترددية، والمراقبة قبل الإطلاق، ولتخفيف التداخل.

ونظراً للأوضاع المسبقة المختلفة، هناك أساليب مختلفة لتحديد الساتل. والسيناريوهات المحتملة يمكن أن تكون على النحو التالي:

- وقت ظهور التداخل معروف. دلالة على وجود ساتل غير مستقر بالنسبة إلى الأرض هي إزاحة دوبلر؛ ودلالة أخرى هي تكرار الحدوث في وقت مماثل من اليوم. ومثال على ذلك: لدى العميل بروتوكول لحالات التداخل. ويجب أخذ اتجاهية/نمط إشعاع الهوائي الذي يستقبل التداخل في الاعتبار.
- محطة المراقبة قادرة على تتبع الساتل غير المعروف وتسجيل الوقت، والسمت، الارتفاع.
- محطة المراقبة قادرة على تسجيل نطاق التردد المعني باستعمال هوائي شامل الاتجاهات.

أساليب تحديد السواتل

يجب وضع في الاعتبار أن الساتل لا يرسل بالضرورة إشارات بشكل مستمر.

الأسلوب A: العناصر المدارية متوافرة

- الشرط المسبق: تتوافر مجموعة كاملة من العناصر المدارية لجميع السواتل
- تتنبأ البرمجية بالصورة (وزوايا الرصد) في وضع الوقت الفعلي
- مقارنة بالهدف المرصود
- تخفيض عدد السواتل المحتملة عن طريق تكرار القياسات
- استخدم العناصر المدارية لتوجيه الهوائي لإجراء المزيد من القياسات

الأسلوب B: العناصر المدارية من زوايا الرصد

- الشرط المسبق: الهوائي في وضع التتبع التلقائي على إشارة مناسبة
- تسجيل السمت وزوايا الارتفاع
- حساب العناصر المدارية (انظر الدراسات السابقة)
- التنبؤ بالتحليقات لإجراء المزيد من القياسات

الأسلوب C: مقارنة أوقات الرصد

- الشرط المسبق: تسجيل الطيف على هوائي شامل الاتجاهات
- قياس الفرق الزمني بين أوقات الاقتراب الأقرب (TCA)
- البحث عن فترة مطابقة في قاعدة البيانات
- الحصول على TLE الخاصة بالسواتل لهذه الفترة
- حساب مدى الرؤية ومقارنة أوقات مدى الرؤية مع أوقات الرصد
- استعمال العناصر المدارية لتوجيه الهوائي لإجراء المزيد من القياسات

بعض الملاحظات على الأسلوب C

تدور السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض حول الكرة الأرضية في حين تدور الأرض على محورها. وبالتالي، يمر الراصد (ما لم يكن يقع بالقرب من محور دوران الأرض) مرتين تحت مدار الساتل، المرة الأولى عندما يأتي الساتل من الشمال، وفي المرة الثانية عندما يأتي من الجنوب. وللحصول على قياس أكثر دقة، يوصى بتحديد الفرق الزمني بين التحليقات التي تفصل بينها ما يقرب من 24 ساعة (48، و72 ...)، وتتم قسمتها على عدد اللفات. وتتحقق أفضل نتيجة عندما يتحرك الساتل في نفس الاتجاه (الشمال/الجنوب) ويتم استقباله بنفس زوايا الرصد.

وبالنظر إلى أن معظم السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض لها مدار منخفض يبلغ ارتفاعه ما بين 160 و2 000 km (مدار أرضي منخفض (LEO)) فإن فترتها تتراوح ما بين 84 و127 دقيقة. ولذلك، فإنها تكون مرئية عدة مرات عندما يمر الراصد تحت المدار. وينتج عن ذلك مجموعة من التحليقات. وحسب خط العرض الخاص بالراصد، يمكن رؤية المجموعتين (الساتل القادم من الشمال، والساتل القادم من الجنوب) على نفس (راصد بالقرب من خط الاستواء) الفترات الزمنية الفاصلة أو على فترات زمنية مختلفة. ويشير التغيير في الفترة الزمنية إلى ميل الساتل. وعلى سبيل المثال، إذا كان الراصد في نصف الكرة الشمالي وكانت الفترة الزمنية خلال مجموعة من التحليقات يتناقص أولاً، ثم يزداد، فإن ميل الساتل يكون أكثر من 90 درجة.

وهناك ترددات يتقاسمها عدد من السواتل، ومعظمها من نفس الكوكبة. ويجب ربط التحليقات بسواتل فردية. ويمكن تحقيق ذلك عن طريق تحديد مجموعات من التحليقات ذات اختلافات زمنية متساوية تقريباً.

بعض التعاريف

التحليق: مرور واحد لساتل ما فوق محطة الاستقبال من أفق إلى أفق.

مجموعة من التحليقات: لفات متتالية (مدارية) لساتل يمكن رصدها.

وقت الاقتراب الأقرب: تجعل إزاحة دوبلر التحليقات مرئية كمنحنيات على شكل s. وفي وقت الاقتراب الأقرب، تكون سرعة الساتل بالنسبة إلى محطة المراقبة صفراً. وهذه هي نقطة انعطاف المنحنى. وفي هذا الوقت، فإن التردد المستقبل وقت الاقتراب مع التردد المرسل.

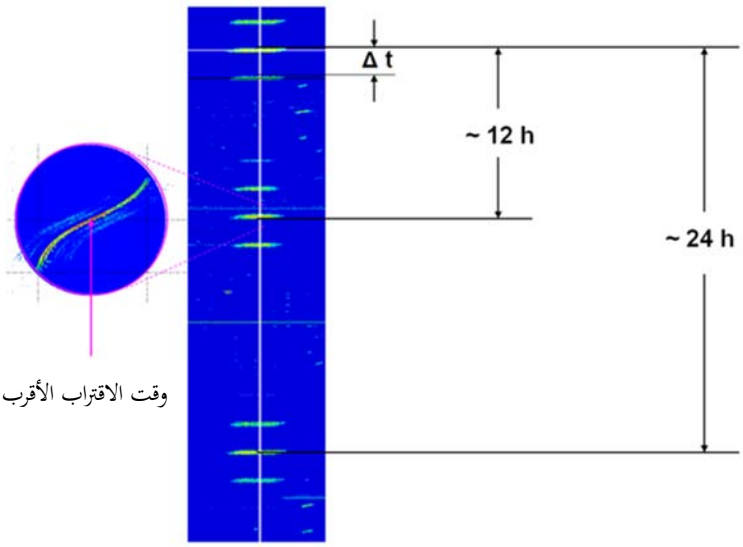
Δt: فرق التوقيت بين تحليقتين

~12 ساعة بعد مجموعة من التحليقات، يمر الساتل بالراصد من الاتجاه المعاكس (شمال/جنوب)

~24 ساعة بعد مجموعة من التحليقات، يمر الساتل بالراصد من نفس الاتجاه (شمال/جنوب)

الشكل 4

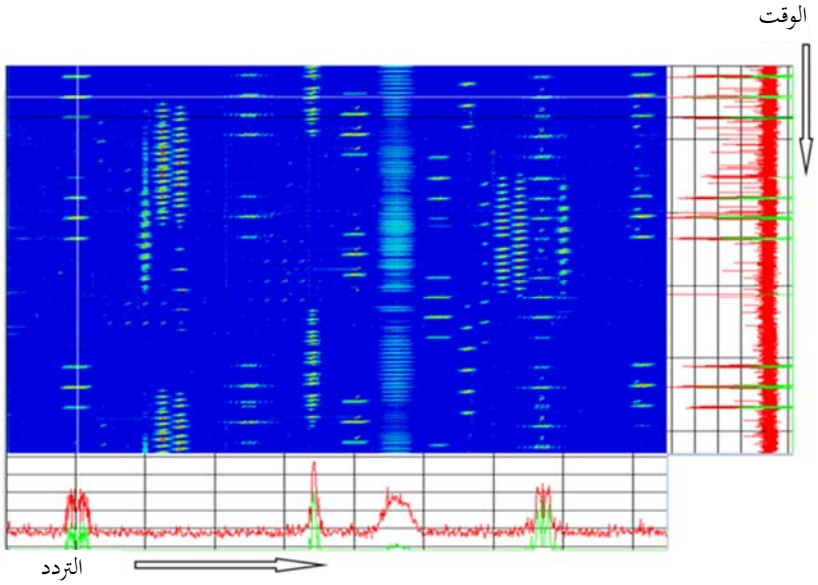
تسجيل بيانات الساتل خلال 30 ساعة



تسجيل الطيف (تسجيل نطاق التردد): نظام تسجيل قادر على عرض الأطياف مع مرور الوقت (مخطط طيفي أو مخطط شلالات) مع وقت تخزين لا يقل عن 48 ساعة، ودقة زمنية بالثواني، ودقة تردد جيدة بما فيه الكفاية لتحديد وقت الاقتراب الأقرب في منحنيات دوبلر.

الشكل 5

مثال على تسجيل الطيف



2.3.5 قياس الموقع المداري

ينبغي حساب مسار الساتل غير المستقر بالنسبة إلى الأرض وتوفيره في شكل إحداثيات جغرافية (النقطة تحت الساتل والارتفاع – يمكن أيضاً تحديدها في إحداثيات مرجعية xyz بالنسبة إلى مركز الأرض) أو في شبكة سماوية. ويمكن تحقيق ذلك من خلال التتبع أحادي النبض على مدار 24 ساعة أو من خلال استعمال الوسائل البصرية.

3.3.5 قياس منحنى كثافة تدفق القدرة للموجة الحاملة

يمكن التنبؤ بوقت الاستقبال للساتل غير المستقر بالنسبة إلى الأرض باستعمال التقويم الفلكي للساتل. وبهذه البيانات، يمكن لهوائي المحطة الأرضية أن يتتبع الساتل ويقيس منحنى كثافة تدفق القدرة آلياً. وينبغي تخزين نتائج القياس في قاعدة البيانات وعرضها بيانياً.

6 حل مشاكل التداخل

تكون المرسلات المستقبلات الساتلية الشفافة معرضة للتداخل المتعمد وغير المتعمد للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة. ويحدث التداخل غير المتعمد عادةً بسبب أحد الأسباب التالية:

- تشغيل خاطئ لخدمة ساتلية مرخصة:
  - خطأ من المشغل؛
  - عطل في المعدات؛
  - تداخل نتيجة الاستقطاب المتبادل؛
- التداخل من ساتل مجاور

يمكن أن يحدث التداخل المتعمد عن طريق التشويش المتعمد لأغراض سياسية أو جنائية، وكذلك من المحطات الأرضية غير المرخصة التي تشغل بشكل غير مشروع ترددات ساتلية خاملة، مما يتسبب في تدهور ضار أو تعطيل للخدمات المرخصة. ولذلك، فإن تحديد الموقع الجغرافي والتحقيق في التداخل الساتلي أمر مهم للغاية.

1.6 أنواع التداخل

لكل نوع من أنواع التداخل تقنيات القياس المفضلة نتيجة الخصائص المختلفة للإشارات. ولذلك، يجب أن يعمل نظام تحديد الموقع الجغرافي للسواتل على أنواع مختلفة من إشارات التداخل:

- الموجة المستمرة (CW)
- الإشارة المشّكلة الرقمية
- الإشارة المشّكلة التماثلية
- النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA)/النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (FDMA)/النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA)
- إشارة الرشقة
- إشارة نبضية
- إشارة الكنس
- إشارة تمديد الطيف
- نبض الرادار.

وعلى سبيل المثال، من أجل تحديد الموقع الجغرافي على إشارة الموجة المستمرة هناك حاجة إلى قياسات اختلاف تردد الوصول (FDOA) فقط. غير أنه في حالة تداخل النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA)، يجب استكمال قياسات المعلمات الإضافية لتحديد عدد المحطات العاملة والفترة الزمنية لكل محطة مسبقاً قبل بدء تحديد الموقع الجغرافي.

2.6 مبادئ تحديد الموقع الجغرافي

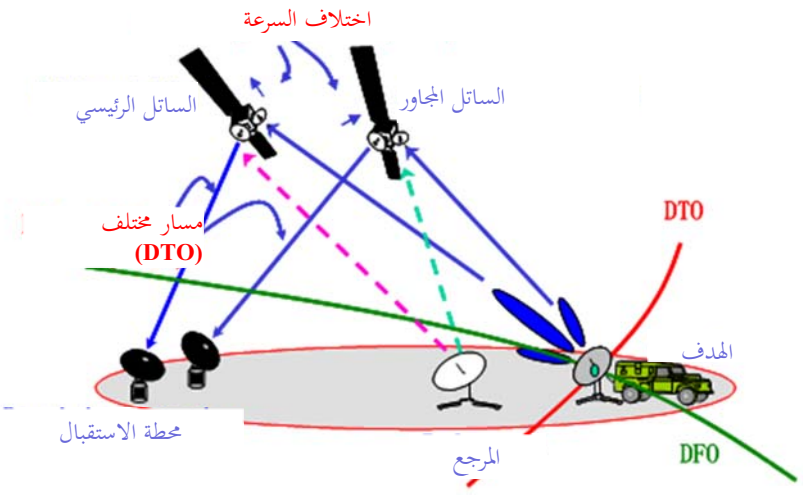
1.2.6 تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات على الأرض باستعمال ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض

1.1.2.6 مبادئ القياس

يستند الأسلوب الأكثر استعمالاً لتحديد الموقع الجغرافي للمرسلات على الأرض إلى قياسات اختلاف زمن الوصول (TDOA) واختلاف تردد الوصول (FDOA) بساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض. ويرد مفهوم هذا الأسلوب في الشكل 6.

الشكل 6

مباعدة الزوايا بين الساتل الرئيسي والساتل المجاور مقابل نطاق تردد الوصلة الصاعدة وحجم الهوائي



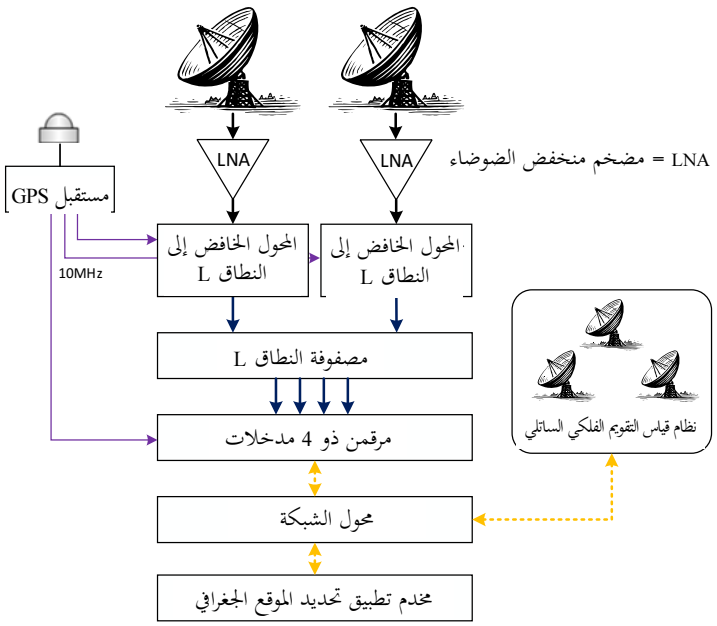
وفي هذا المثال، يكون الساتل الرئيسي هو الساتل الذي يستقبل التداخل، المعروف أيضاً باسم الساتل "الضحية". ويقع الساتل المجاور بالقرب من الساتل الرئيسي، حيث يمكن استعمال المرسل المستجيب الخاص به لقياس الفص الجانبي للتداخل. وينتج عن قياس اختلاف زمن الوصول الفرق الزمني بين الإشارة المسببة للتداخل التي تصل إلى مستقبِلين أرضيين يقومان بالمراقبة من خلال الساتل الرئيسي والساتل المجاور. وينتج عن قياس تردد الوصول فرق التردد في الإشارة المسببة للتداخل التي تصل بشكل منفصل إلى المستقبلين عبر الساتلين. وعادة ما يتم عرض تقاطع خطوط اختلاف زمن الوصول (TDOA) واختلاف تردد الوصول (FDOA) في شكل منطقة بيضاوية تحدد المنطقة المرجح أن يكون فيها المرسل غير المرخص.

2.1.2.6 نظام نمطي لتحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض

يتألف نظام تحديد الموقع الجغرافي النمطي باستعمال ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض من سلسلتي استقبال الترددات الراديوية (RF) ومحولات رقمية للإشارات ومخدم لتطبيقات تحديد الموقع الجغرافي. ويمكن أن تستعمل سلسلة الترددات الراديوية مضخم منخفض الضوضاء ومحول خافض (LNA)+down-converter)) أو محول خافض للفدرة منخفضة الضوضاء (LNB) كما هو موضح في الشكل 7.

الشكل 7

مثال على مخطط نظام تحديد الموقع الجغرافي بساتلين



2.2.6 تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات على الأرض باستعمال ثلاثة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض

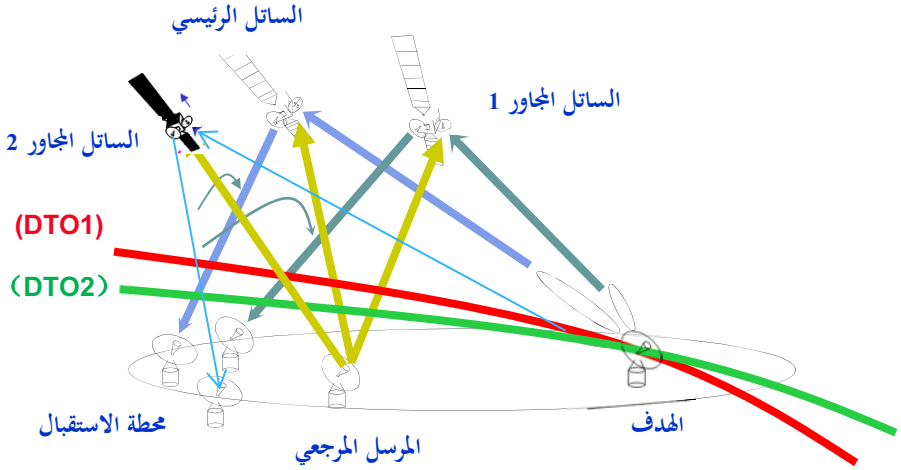
1.2.2.6 وصف المشكلة

يتمثل أحد قيود أسلوب تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض في عدم اليقين بشأن خط اختلاف تردد الوصول الذي يمكن أن يتذبذب صعوداً وهبوطاً خاصة في حالة التقويم الفلكي غير الدقيق. ويؤدي هذا التذبذب إلى ضعف الدقة. ومن شأن استعمال بيانات القياس من العديد من المحطات المرجعية المعروفة أن يقلل أثر التقويم الفلكي غير الدقيق، على الرغم من أنه لا يمكن أن يقضي عليه تماماً.

وللحصول على نتيجة أكثر دقة، تم تطوير أسلوب تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ثلاثة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض استناداً إلى قياسات اختلاف زمن الوصول. ومع ذلك، قد يكون من الصعب في الواقع العثور على ساتلين متجاورين مناسبين لدعم هذا الأسلوب. ويرد مفهوم هذا الأسلوب في الشكل 8.

الشكل 8

مفهوم نظام تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ثلاثة سواتل وخوارزمية TDOA/FDOA

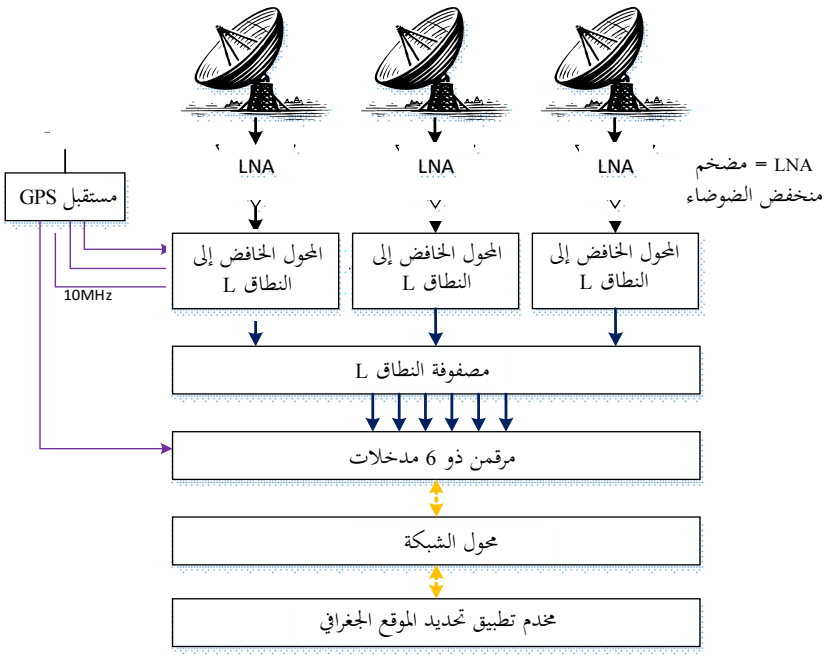


2.2.2.6 النظام النمطي لتحديد الموقع الجغرافي باستعمال ثلاثة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض

يتشابه تشكيل النظام النمطي لتحديد الموقع الجغرافي باستعمال ثلاثة سواتل مستقرة بالنسبة إلى الأرض إلى حد ما مع تشكيل نظام تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتلين مستقرين بالنسبة إلى الأرض. ويتكون هذا النظام من ثلاث سلاسل استقبال للترددات الراديوية، ومرقمن للإشارات ومخدم تطبيقات تحديد الموقع الجغرافي. ويمكن أن تستعمل سلسلة الترددات الراديوية مضخم منخفض الضوضاء ومحول خافض (down-converter+(LNA)) أو محول خافض للفدرة منخفضة الضوضاء (LNB) كما هو موضح في الشكل 9.

الشكل 9

مثال على مخطط نظام تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ثلاثة سواتل



3.2.6 تحديد الموقع الجغرافي للمرسلات على الأرض باستعمال ساتل واحد مستقر بالنسبة إلى الأرض

1.3.2.6 وصف المشكلة

كما سبق ذكره في الفقرتين 1.2.6 و2.2.6، هناك أنظمة تجارية لتحديد الموقع الجغرافي متاحة حالياً من مصنعين مختلفين. والعيب الرئيسي لمبادئ تحديد الموقع الجغرافي هذه هو ضرورة وجود ساتل مجاور واحد على الأقل يكون قريباً بما فيه الكفاية ليكون له طاقة لغط مفيدة لدعم العملية الحسابية.

وعلى الرغم من قيام مشغلي السواتل الرئيسيين بتشغيل عدة مئات من السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، فإن بعضها لا يزال "معزولاً"، مما يعني أن الساتل المجاور التالي يبتعد بأكثر من 10 درجات. وفي هذه الحالة، من المرجح جداً أن يكون اللغط صغيراً جداً ليتم قياسه.

وفي حالة وجود ساتل مجاور، فإنه قد لا يكون على الرغم من ذلك مفيداً لتحديد الموقع الجغرافي إذا لم يكن التقويم الفلكي الدقيق متاحاً. وإحدى المعلمات الرئيسية التي يجب أن تكون معروفة لأنظمة تحديد الموقع الجغرافي هي الموقع الدقيق والسرعة الدقيقة لكل من الساتل الرئيسي والساتل المجاور. وتؤثر جودة هذه المعلمات تأثيراً كبيراً على دقة أنظمة تحديد الموقع الجغرافي. وبالإضافة إلى ذلك، إذا كان الساتل المجاور تحت تحكم مشغل سواتل مختلف، فإن بيانات التقويم الفلكي غالباً ما لا تكون معروفة أو معروفة بدون دقة كبيرة، مما يجعل أي نتيجة لتحديد الموقع الجغرافي غير صالحة للاستعمال.

وبمساعدة نظام تحديد موقع المدارات، يمكن حساب التقويم الفلكي للساتل. وبناء عليه، فإن أحد الشروط المسبقة لنجاح القياس هو توافر المحطات المرجعية. وهناك حاجة إلى ما لا يقل عن ثلاث إلى أربع محطات مرجعية لحساب بيانات التقويم الفلكي بدقة كافية. وبينما يبدو أن تحقيق ذلك سهل، إلا أنه في الواقع يمثل تحدياً، ولا يمكن تحديد الموقع الجغرافي في العديد من الحالات لأن المشغلين غالباً لا يعرفون أي إشارة مرجعية تنبعث من أي محطة.

وفي حالة استيفاء الشرطين، ترتبط العقبة التالية بإشارة اللغط على الساتل المجاور. ويجب أن تكون إشارة اللغط في نفس نطاق التردد والاستقطاب الخاصين بالإشارة المسببة للتداخل على الساتل الرئيسي (المتأثر). ومع الأخذ في الاعتبار جميع الشروط الثلاثة، هناك العديد من السيناريوهات التي لا يمكن فيها النجاح في قياس الموقع الجغرافي بالأدوات والخوارزميات المتاحة حالياً. وبالتالي، ستكون هناك ميزة كبيرة إذا كان هناك أسلوب يستعمل إشارة التداخل والإشارة المرجعية من ساتل واحد.

2.3.2.6 أسلوب تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتل واحد مستقر بالنسبة إلى الأرض وإزاحة دوبلر المعكوسة

يصف القسم 8.2.1.5 من كتيب مراقبة الطيف الصادر عن الاتحاد الدولي للاتصالات (طبعة 2011) بالفعل أسلوباً ممكناً لتحديد الموقع الجغرافي لمرسل غير مرخص على الأرض باستعمال ساتل واحد مستقر بالنسبة إلى الأرض. ويتمثل عيب هذا النهج في حساسيته المتأصلة للتغيرات في التردد التي تسببها عتاد معدات مراقبة محطة الوصلة الصاعدة نفسها (مثل مصادر التردد ومعدات العروة محكمة الطور (PLL) التي تتأثر بالتغيرات في درجة الحرارة، وما إلى ذلك) التي يمكن أن تصل إلى المدى النمطي لإزاحة دوبلر في السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض أو تتجاوزه.

وفي الواقع، أثبتت أنظمة تحديد الموقع الجغرافي التجارية باستعمال هذا الأسلوب أن أفضل دقة ممكنة لتحديد الموقع الجغرافي أكبر من 100 كم، وبالتالي ليس من المفيد جداً تحديد محطة الوصلة الصاعدة لمرسل غير مرخص. وقد تعمل هذه الأنظمة بدقة مقبولة عندما تُستقبل إشارة التداخل عبر ساتل مداري مائل، يتحرك بشكل أكبر مقارنة بالسواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، مما يسفر عن إزاحة دوبلر أكبر.

3.3.2.6 أسلوب تحديد الموقع الجغرافي باستعمال ساتل واحد والارتباط بمرسلات معروفة على الأرض

تعتمد هذه التقنية على أن قدرة الإشارة الساتلية، التي ترسل من محطة وصلة صاعدة معينة على الأرض إلى الساتل وهبوطاً إلى محطة استقبال، تختلف مع الوقت نتيجة عدد العوامل كما هو مبين في الشكل 10:

- حركة الساتل؛

- ظروف الغلاف الجوي والطقس (على جانب الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة)؛
- التغييرات في كسب مضخم القدرة وتراصف الهوائي في محطة الإرسال.

الشكل 10

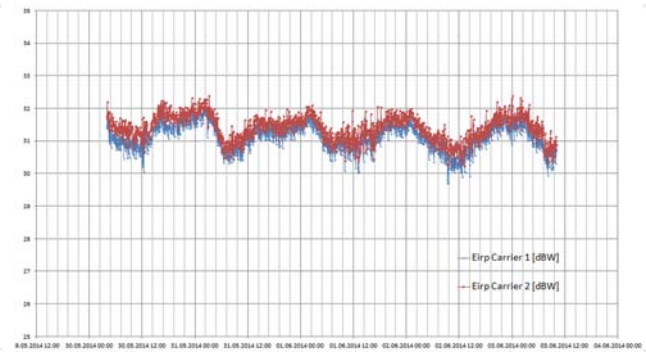
مفهوم نظام تحديد الموقع الجرافي بساتل واحد باستعمال الارتباط بمرسلات معروفة

ويمكن افتراض أن الإشارات المرسلة من نفس محطة الوصلة الصاعدة أو من نفس المنطقة الجغرافية ستُظهر نفس التغيرات في القدرة خلال نفس الإطار الزمني، في حين أن الإشارات المرسلة من مناطق جغرافية مختلفة ستُظهر اختلافات متباينة في القدرة خلال نفس الإطار الزمني.

ويبين الشكل 11 اختلافات قدرة إشارتين (حمراء وزرقاء) مرسلتين من نفس محطة الوصلة الصاعدة على مدى فترة أربعة أيام. ويمكن تحديد بوضوح اختلاف دوري على مدار 24 ساعة ناتج عن حركة الساتل. ويبين الشكل 12 الاختلافات في القدرة الناجمة عن تأثيرات الطقس (طفرات كبيرة في البيانات). وفي كلتا الحالتين، تكون اختلافات القدرة متماثلة تقريباً حيث إن الإشارتين مرسلتين من نفس هوائي الوصلة الصاعدة.

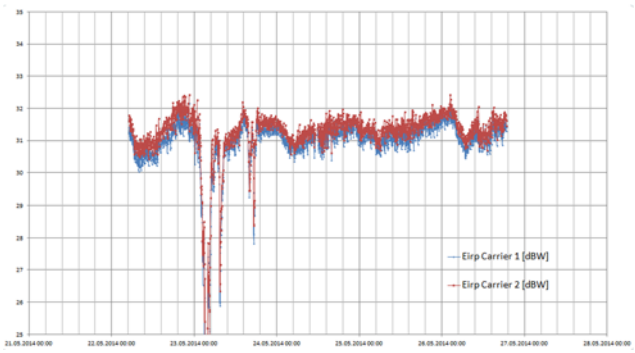
الشكل 11

اختلاف القدرة بسبب حركة الساتل على مدى 24 ساعة



الشكل 12

اختلاف القدرة بسبب تأثيرات الطقس



وبهذا الأسلوب، من أجل تحديد موقع إشارة مسببة للتداخل، يجب حساب أوجه التشابه بين الإشارة المسببة للتداخل والإشارات المعروفة الأخرى. ويتم ذلك عادة في ميدان التردد عن طريق الارتباط بين الإشارات أو أجزاء منها. ولذلك، فإن خوارزمية الارتباط هي الأكثر أهمية في هذا الأسلوب من حيث دقة تحديد الموقع الجغرافي والكفاءة والنجاح.

وينطبق هذا المفهوم عندما تُرسل إشارات مختلفة عديدة من نفس محطة الوصلة الصاعدة أو في نفس المنطقة الجغرافية بوصفها مصدر التداخل. ويمكن مراقبة جميع الإشارات (بما في ذلك المسببة للتداخل) من تلك المنطقة على المدى الطويل بواسطة نظام مراقبة الموجات الحاملة، ويمكن الربط بين التغيرات المقيسة في الإشارة المسببة للتداخل من حيث القدرة أو التردد أو عرض النطاق (على سبيل المثال بسبب تأثيرات الطقس) والتغيرات في المرسلات المحلية الأخرى (المفترضة). وفي حالة وجود ارتباط موجب، يمكن القول إن موقع المرسل المسبب للتداخل للوصلة الصاعدة مماثل لموقع المرسل الذي يوجد ارتباط معه أو القريب منه.

وتكمن صعوبة هذا الأسلوب في نهج الارتباط واستراتيجية المراقبة، حيث إن القياسات عادة ما لا تتم في نفس الوقت بالضبط (على سبيل المثال، القياسات المتزامنة مقابل قياسات الحلقة الدوارة "round robin"). وسيؤثر ذلك بشكل كبير على القدرة على الحصول على نتائج ارتباط ذات معنى والتي تتطلب قياسات معلمات متزامنة. وفيما يخص ارتباط القياسات غير المتزامنة، يجب دراسة تأثير الترجيح الزمني القائم على دلتا، وفحوص إمكانية التطبيق، وتخفيف الغموض، وما إلى ذلك. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تعزيز هذا الأسلوب من خلال النظر في عوامل مثل المعلومات المتعلقة بالعتاد التي تنتمي إلى محطات الإرسال المعروفة، ومعلومات الطقس من الأطراف الخارجية، وما إلى ذلك. وعلى سبيل المثال، يمكن استعمال معلومات الطقس لإجراء تخفيف إضافي في الغموض من خلال تحديد الحالات التي تتعارض مع أوضاع طقس معينة وإزالتها.

3.6 متطلبات نظام تحديد الموقع الجغرافي

1.3.6 الساتل

بالنسبة إلى أساليب تحديد الموقع الجغرافي التي تستعمل أكثر من ساتل واحد، ينبغي ألا يكون الساتل الرئيسي والساتل المجاور قريبين جداً من بعضهما البعض (مما يجعل قياس اختلاف زمن الوصول صعباً) ولا بعيدين جداً (مما يجعل مستوى الإشارة في الساتل المجاور منخفضاً للغاية بحيث لا يمكن كشفه)، ويجب أن تكون إشارة اللغط على الساتل المجاور في نفس نطاق تردد واستقطاب الإشارة المسببة للتداخل على الساتل الرئيسي. ولا غنى عن بيانات التقويم الفلكي لهذه السواتل لتحديد الموقع الجغرافي الدقيق. ويرد الفصل الزاوي الموصى به بين الساتل الرئيسي والساتل المجاور في الجدول 1.

الجدول 1

الفصل الزاوي بين الساتل الرئيسي والساتل المجاور مقابل نطاق تردد الوصلة الصاعدة وحجم الهوائي

حجم الهوائي (متر)	النطاق C GHz 6	النطاق X GHz 8	النطاق ku GHz 14	النطاق ka GHz 27,5	النطاق ka GHz 31
1,2	°15>	°15>	°15>	°10>	°9>
3	°15>	°15>	°15>	°10>	°8>
4,5	°13>	°13>	°12>	°8>	°7>
7,3	°12>	°11>	°10>	°7>	°5>
9	°10>	°10>	°10>	°6>	°3>
16	°10>	°9>	°8>	°3>	
32	°10>	°7>	°3>		

ويجب ألا يكون الساتل الرئيسي والساتل المجاور في نفس المدار، إلا إذا توافرت بيانات دقيقة جداً للتقويم الفلكي.

2.3.6 محطة الاستقبال

ينبغي أن تغطي حزمة المرسلات المستجيبات في كل من الساتل الرئيسي والساتل المجاور كل من محطة الإرسال ومحطة الاستقبال في آن واحد. وبالإضافة إلى ذلك، من المطلوب توافر أداء كاف لنظام تحديد الموقع الجغرافي، مثل الواجهة الأمامية للترددات الراديوية، والحصول على البيانات والبرمجيات.

3.3.6 المرسل المرجعي

يُستعمل مرسل مرجعي للوصلة الصاعدة لإرسال إشارة مرجعية في موقع معروف (تحديد دقيق لخط العرض وخط الطول والارتفاع)، وبمعلمات معروفة (تردد وعرض نطاق واستقطاب) إلى الساتل الرئيسي أو الساتل المجاور. وعادة ما تكون الإشارة المرجعية إشارة مشّكلة ولكن يفضل أن تكون إشارة تمديد الطيف.

ويمكن استعمال الإشارة المرجعية للتخلص من الأخطاء المتأصلة عند قياس اختلاف TDOA واختلاف FDOA، مثل خطأ انحراف المذبذب المحلي للمرسل المستجيب وخطأ التقويم الفلكي للساتل. وإذا كان التقويم الفلكي للساتل غير دقيق بما فيه الكفاية (تم تنزيله من على الإنترنت)، يوصى باستعمال ثلاث إلى خمس إشارات مرجعية للحصول على نتيجة دقيقة للموقع الجغرافي.

4.6 تقنيات تحديد الموقع الجغرافي لمرسل على الأرض

من أجل تناول سيناريوهات القياس الصعبة، يوصى بتحسين أداء نظام تحديد الموقع الجغرافي والتقنيات المذكورة أدناه.

1.4.6 تقنية إزالة الموجة الحاملة

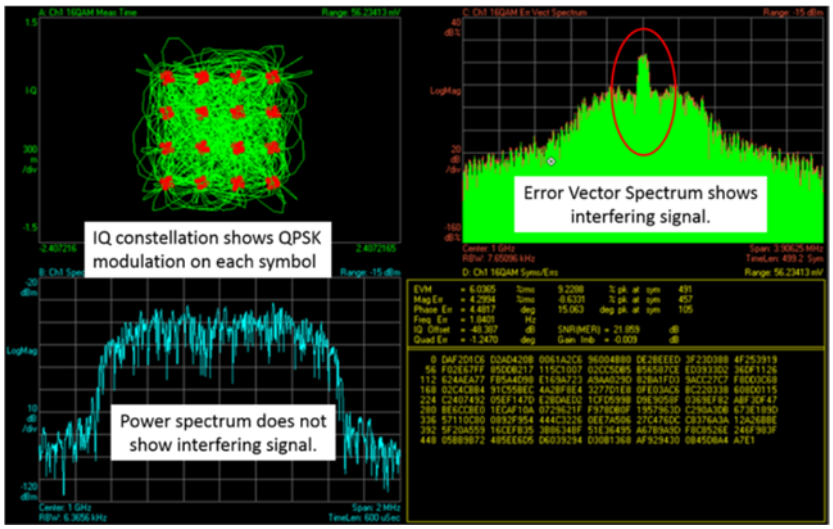
في بعض الحالات، قد تطغى إشارة قوية في الساتل المجاور على الفص الجانبي للتداخل، وقد لا تكون قياسات تحديد الموقع الجغرافي ناجحة أو قد تكون نتيجة تحديد الموقع الجغرافي خاطئة. ويمكن لتكنولوجيا إزالة الموجة الحاملة أن تقضي على أثر هذه الإشارات القوية في الساتل المجاور. ويمكن تطبيق التكنولوجيا بالطريقة التالية:

- قياس وتحليل معلمات الموجة الحاملة الأصلية في الساتل المجاور، مثل التردد، وعرض النطاق، ونوع التشكيل، ومعدل الرموز.
- إعادة بناء موجة حاملة مماثلة للموجة الحاملة الأصلية.
- طرح الموجة الحاملة الأصلية من الموجة الحاملة المعاد بناؤها، ثم إزالة الموجة الحاملة الأصلية من بيانات العينات إلى أقصى حد.

ويمكن تحقيق هذه العملية أيضاً باستعمال برمجية تحليل الإشارات المتجهية (VSA) وقدرتها على حساب شكل الموجة الزمنية لشدّة متّجِه الأخطاء (EVM) عن طريق استعمال تسجيلات IQ للإشارة القوية في القناة المجاورة. ويتم تحميل التسجيل في برمجية تحليل الإشارات المتجهية وإدخال معلمات التشكيل للإشارة القوية بما في ذلك نسق التشكيل ومعدل الرموز ونوع المرشاح على النحو المبين في الشكل 13. ويمكن بعد ذلك استعمال طيف EVM لرؤية طيف الإشارة المسببة للتداخل واستعمال الميدان الزمني لشكل موجة EVM من أجل إعادة بناء الإشارة.

الشكل 13

تطبيق واحد يستعمل تقنية إزالة الموجة الحاملة



2.4.6 تقنية معالجة الكسب العالي

إذا كان الساتل المجاور بعيداً عن الساتل الرئيسي، ستكون قدرة اللغط ضعيفة جداً بحيث يمكن كشفها، مما يؤدي إلى فشل تحديد الموقع الجغرافي. وحل هذه الحالة هو تحسين كسب معالجة النظام، وبالتالي تحسين قدرة النظام على استخلاص الإشارة الضعيفة، وزيادة المسافة بين الساتل الرئيسي والساتل المجاور.

ويمكن تنفيذ هذه التكنولوجيا عن طريق زيادة وقت التكامل وعرض نطاق القياس في نظام تحديد الموقع الجغرافي.

3.4.6 تقنية تحديد الحركة

يرتبط خط اختلاف TDOA بالمسافة من المرسل إلى الساتل الرئيسي والساتل المجاور. وإذا كان المرسل يتحرك على الأرض، سيتغير خط اختلاف TDOA بشكل كبير. وإذا كان المرسل ثابتاً، لن يتغير اختلاف TDOA إلا في حدود بضعة كيلومترات. ولذلك، يمكن استعمال خط اختلاف TDOA لتقدير حركة المرسلات عن طريق رصده على مدى فترة زمنية طويلة.

5.6 العوامل التي تؤثر على دقة تحديد الموقع الجغرافي

تعتمد دقة نتيجة تحديد الموقع الجغرافي اعتماداً كبيراً على الجوانب التالية:

- دقة التقويم الفلكي الساتلي:

تعتبر معلومات الموقع ثلاثية الأبعاد للساتل وسرعته عاملاً معروفاً في خوارزميات تحديد الموقع الجغرافي والمعادلات ذات الصلة. ويؤثر خطأ التقويم الفلكي الساتلي بشكل مباشر على دقة الموقع وهو العامل الرئيسي الذي يسبب الخطأ.

- دقة الموقع المرجعي:

تؤدي المحطات المرجعية دوراً مهماً في تصحيح خطأ التقويم الفلكي والأخطاء المتأصلة، وستؤثر دقة موقع المحطة المرجعية على دقة نتيجة تحديد الموقع الجغرافي إلى حد كبير.

- مخطط المحطة المرجعية:

سيؤثر التشكيل الجغرافي للمحطات المرجعية أيضاً على تصحيحات الأخطاء اللازمة لأخطاء التقويم الفلكي والأخطاء المتأصلة. وعادة، ينبغي أن تكون إحدى المحطات المرجعية قريبة من المرسل غير المرخص، بينما توزع المحطات المتبقية حوله على مسافات فصل واسعة.

- توقيت تحديد الموقع الجغرافي:

نظراً إلى اضطراب موقع الساتل، يكون من الصعب قياس فرق السرعة القطرية البسيطة من الساتل إلى كل محطة من محطات الوصلات الصاعدة، وبالتالي ستكون دقة الموقع ضعيفة خلال فترتين كل يوم.

- التأخير الزمني:

نظراً إلى أن إشارة الساتل تُرسل عبر التروبوسفير والأيونوسفير وقناة الاستقبال والمعدات، فإن التغيرات في تصحيحات التأخير الزمني تؤثر على دقة نتيجة تحديد الموقع الجغرافي.

7 تحديد المرسلات غير المرخصة

ينتج عن قياس الموقع الجغرافي القائم على السواتل تقديراً لموقع المرسل من منطقة يمكن أن تمتد عشرات إلى مئات الكيلومترات المربعة. وينبغي نشر محطة (محطات) المراقبة المتنقلة لتحديد المرسل غير المرخص داخل هذه المنطقة وتحديد موقعه. ويصف هذا القسم هذه الأنظمة المتنقلة ونُهج تحديد الموقع وتخفيف التداخل.

1.7 تكوين نظام المراقبة المتنقلة

من أجل تحديد المرسلات غير المرخصة وتحديد موقعها باستعمال أنظمة المراقبة المتنقلة، ينبغي النظر في المعدات المحمولة التالية.

- منصات المراقبة:
  - منصات المراقبة الأرضية مثل مركبات المراقبة؛
  - منصات المراقبة الجوية مثل الطائرات بدون طيار أو المناطيد أو البالونات أو المنطاد المشدود.
- محلل الطيف المحمول.
- الهوائي ذو الاتجاه الواحد ومتعدد الاتجاهات.
- المضخم منخفض الضوضاء والفدرة منخفضة الضوضاء، ومراشيح تمرير النطاق المناسبة.
- كبلات الترددات الراديوية منخفضة الخسارة.
- مستقبل النظام العالمي لتحديد الموقع، والبوصلة.
- جهاز إرسال البيانات وجهاز التحكم عن بُعد، إذا كانت هناك حاجة إلى إرسال البيانات.

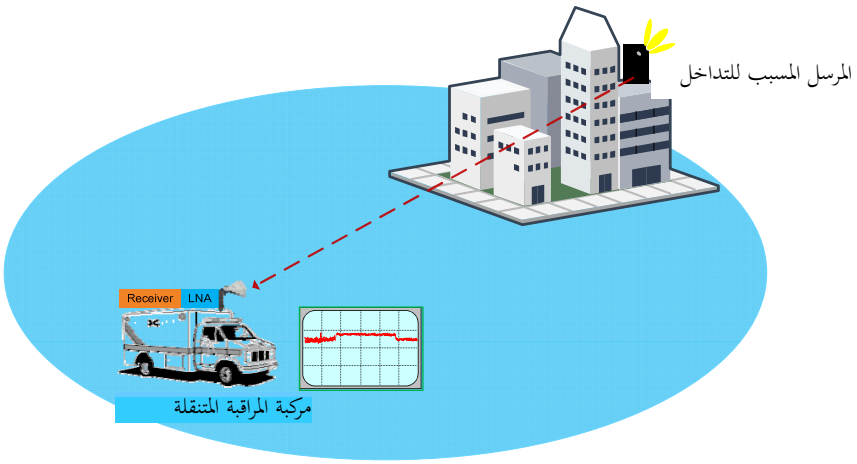
2.7 أساليب البحث الأرضية

1.2.7 الأساليب الأرضية التقليدية القائمة على مقارنة الاتساع

يبدأ الأسلوب التقليدي للبحث عن المرسلات الأرضية بالمنطقة التي يحددها نظام تحديد الموقع الجغرافي، وينطوي على توجيه الإشارات ويتحقق عن طريق إجراء العديد من قياسات قدرة الورود (POA) من مواقع متعددة لتضييق المنطقة إلى تدريجياً حتى يتم العثور على المرسل غير المرخص بالتحديد. وعيب هذا الأسلوب هو أن مسار انتشار الموجات الراديوية يمكن أن يتأثر تأثراً شديداً بالبيئة الكهرمغنطيسية المعقدة، وبالتالي قد تكون هناك حاجة إلى مزيد من الوقت للعثور على أفضل المواقع لدعم استقبال خط البصر من أجل توجيه الإشارات. وبالإضافة إلى ذلك، يزداد تعقيد تحديد موقع المرسلات غير المرخصة بدرجة كبيرة باستعمال نطاقات التردد الأعلى. ويتم تناول هذا الجزء بمزيد من الاستفاضة في الفقرة 2.3.5.4.5 من طبعة عام 2011 من دليل مراقبة الطيف الصادر عن الاتحاد. ويرد في الشكل 14 نهج تقليدي قائم على مقارنة الاتساع.

الشكل 14

أسلوب البحث عن المرسل المسبب للتداخل استناداً إلى مقارنة الاتساع

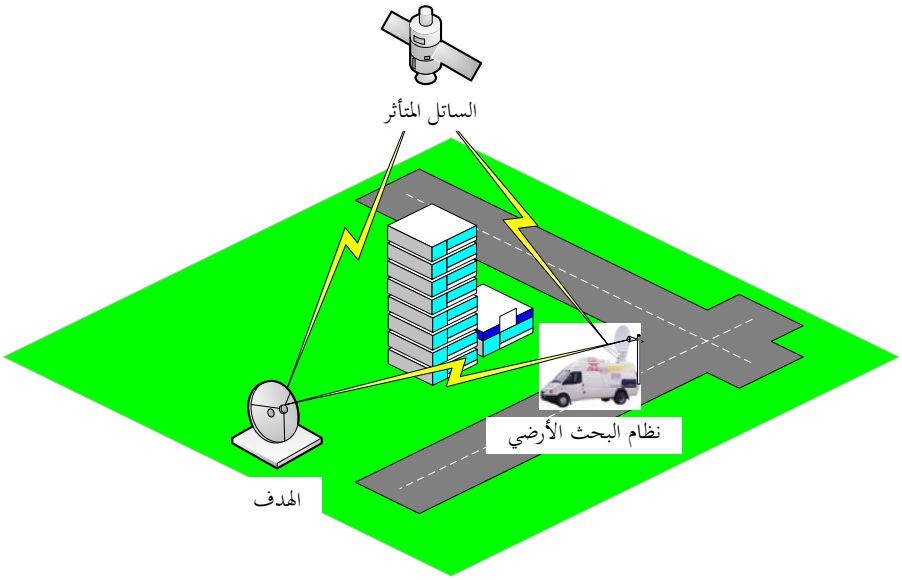


2.2.7 استعمال خوارزمية الارتباط المتبادل لتحسين حساسية النظام

يرد في الشكل 15 أسلوب ساتلي–أرضي تعاوني لتحديد الموقع باستعمال خوارزمية الارتباط المتبادل. ويُنشأ الهوائي الثابت أو هوائي الاستقبال المركب على المركبة، وكلاهما يشير إلى الساتل الذي يتعرض للتداخل، لاستقبال الفص الرئيسي للتداخل في تردد الوصلة الهابطة. وفي نفس الوقت، يتم استقبال الفص الجانبي للتداخل في تردد الوصلة الصاعدة بواسطة هوائي اتجاهي محمول أو مركب على مركبة. ويتم جمع الإشارتين بشكل متزامن وإرسالهما من خلال شبكة لاسلكية لقياسات الارتباط المتبادل على أساس وظيفة الغموض المتبادل. وإذا عُرضت ذروة الارتباط في النتيجة، فهذا يعني أن المرسل المستهدف قريب نسبياً، والذروة القصوى تمثل اتجاه مصدر التداخل. ويرد هذا الجزء بمزيد من الاستفاضة في الفقرة 3.3.5.4.5 من طبعة عام 2011 من دليل مراقبة الطيف الصادر عن الاتحاد.

الشكل 15

البحث الأرضي باستعمال خوارزميات الارتباط المتبادل في نظام ساتلي–أرضي مشترك لتحديد الموقع



3.2.7 استعمال نهج المراقبة الجوية للكشف السريع عن التداخل

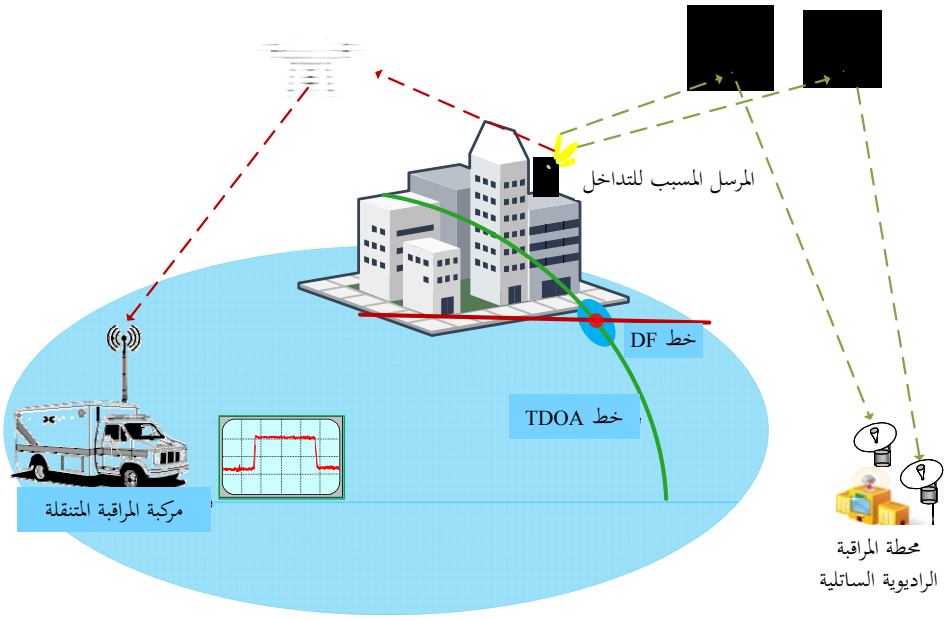
يوجه هوائي الإرسال نحو الساتل، بينما يوضع مستقبل الإشارة على الأرض، بحيث تكون إشارة الفص الجانبي ضعيفة إلى حد ما ويصعب كشفها. وإلى جانب ذلك، تكون معظم المرسلات المسببة للتداخل في المناطق الحضرية، ومن المرجح أن تعترض المباني الإشارة. ولذلك، تستهلك أساليب البحث الأرضي المذكورة في الفقرتين 1.3.7 و2.3.7 وقتاً كثيراً.

وللتصدي لمشكلة بحث "الميل الأخير"، يقترح بحث السواتل المسببة للتداخل بالطائرات بدون طيار التي تستفيد من ميزة الارتفاع التي تتيحها الطائرات بدون طيار لزيادة الأفق المرئي، وتزيل العوائق أو المباني، وتحسّن القدرة المستقبلة (يكون هوائي الاستقبال قريباً من الفص الرئيسي للإشارة المسببة للتداخل)، وبالتالي تحسين إمكانية إجراء تحديد الاتجاه. ويمكن أن يكون الجمع بين نتيجة تحديد الموقع الجغرافي وتحديد الاتجاه طريقة فعالة وعملية للاقتراب من مسببات التداخل، كما هو موضح في الشكل 16.

ويمكن استعمال نتيجة تحديد الموقع الجغرافي كمعلومات مسبقة. ويمكن الاحتفاظ باختلاف TDOA لأنه مستقر ودقيق إلى حد ما. وتقوم الطائرة بدون طيار بعملية تحديد اتجاه الإشارة المسببة للتداخل من خلال مسح ميكانيكي، ينتج عنه خط تحديد الاتجاه (DF). ويكون تقاطع خط اختلاف TDOA مع خط تحديد الاتجاه (DF) هو موقع المرسل المسبب للتداخل. وتقوم الحمولة النافعة في الطائرة بدون طيار بتحديد الاتجاه من خلال مقارنة الاتساع باستعمال هوائي اتجاهي.

الشكل 16

البحث عن مسبب التداخل بطائرة بدون طيار استناداً إلى خط اختلاف TDOA وخط DF



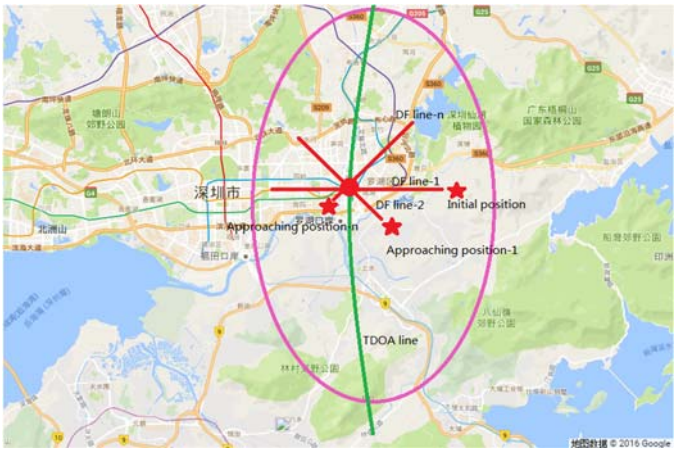
واستناداً إلى الوقائع التي تفيد بأن خط اختلاف TDOA دقيق وفي الاتجاه من الشمال إلى الجنوب، وأن الزاوية الأكبر بين خط اختلاف TDOA وخط تحديد الاتجاه DF تؤدي إلى دقة أكبر في تحديد الموقع، يمكن تصميم إجراء البحث على النحو التالي:

بعد الانتهاء من تحديد الموقع الجغرافي، يمكن الوصول إلى المنطقة التي يتم الحصول عليها من خلال تحديد الموقع الجغرافي، ونشر طائرة بدون طيار شرق أو غرب خط اختلاف TDOA. وتُطبق عملية تحديد الاتجاه للحصول على الموقع المحتمل للمرسل المسبب للتداخل من تقاطع خط DF وخط اختلاف TDOA. ثم يتم تعديل موضع الطائرة بدون طيار للحصول على خط آخر لتحديد الموقع لتقليل الخطأ الناتج عن عملية تحديد الاتجاه. ويتم بعد ذلك ضبط موقع الطائرة بدون طيار عدة مرات، والاقتراب تدريجياً من الموقع الحقيقي للمرسل المسبب للتداخل.

ويعرض الشكل 17 إجراء البحث. والمنطقة الإهليلجية هي نتيجة تحديد الموقع الجغرافي التي توضح المنطقة المحتمل أن يكون فيها المرسل المسبب للتداخل، والخط الأخضر هو خط اختلاف TDOA في نتيجة تحديد الموقع الجغرافي، والنجوم الحمراء هي موضع الطائرة بدون طيار، والخطوط الحمراء هي نتائج خطوط تحديد الموقع DF من الطائرة بدون طيار، والنقطة الحمراء في الوسط هي موقع المرسل المسبب للتداخل.

الشكل 17

إجراء البحث عن المرسل المسبب للتداخل



الملحق 1

فئات محطات الرصد الساتلي

عند النظر في سيناريوهات مختلفة للمراقبة، ينبغي مراعاة تشغيل ونشر الأنواع المختلفة من أنظمة المراقبة بشكل مرن.

وتعتبر أنظمة المراقبة الثابتة حيوية بالنسبة إلى محطة المراقبة، وخاصة بالنسبة إلى السواتل ذات الحزم العالمية ولرصد السواتل ذات الحزم الإقليمية وتحديد الموقع الجغرافي للمرسلات على الأرض. وتكون أنظمة المراقبة غير الثابتة نُهجاً لازمة لرصد السواتل ذات الحزم النقطية، وتحديد الاتجاه، واختبار البيئة الكهرمغنطيسية، وكذلك للعمل كمرافق مساعدة لنظام تحديد الموقع الجغرافي.

1.A1 محطة المراقبة الثابتة

من أجل الوفاء بمتطلبات القياس الواردة في لوائح الراديو، يعد نظام المراقبة الثابت ضرورياً لمحطات الرصد الساتلي. ويوصى بتركيب نظام مراقبة ثابت في موقع يمتثل لمتطلبات البيئة الكهرمغنطيسية "النظيفة"، من أجل تحقيق أمثل أداء أثناء استقبال الإشارة الساتلية، فضلاً عن إجراء المزيد من القياس والتحليل.

ويحدد حجم الهوائي كسب الهوائي، وبالتالي ينبغي أن يكون كبيراً بما فيه الكفاية بما يتيح استقبال الإشارة بشكل سليم. وتتطلب مخططات التشكيل الأعلى مستوى نسب *C/N* أعلى. ومن أجل ضمان ثبات نتائج القياس على المدى الطويل، ينبغي فحص خسارة الإرسال بانتظام كعمل مهم من أعمال صيانة النظام.

2.A1 محطة المراقبة القابلة للنقل

نظام المراقبة القابل للنقل هو نظام مساعد لنظام المراقبة الثابت. ويمكن حمل هذا النظام على مركبات المراقبة، أو تركيبه مؤقتاً في أي مكان خارج منطقة تغطية حزمة نظام المراقبة الثابت. وعادة ما يُستعمل هذا النظام لإجراء قياس للإشارة الساتلية على طول الحدود الوطنية، وبالقرب من المرافئ وحول المناطق المهمة خلال الأحداث الكبرى.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن السواتل ذات الحزم النقطية تتسم بتغطية حزم صغيرة (لمئات الكيلومترات فقط)، ومن المؤكد أن نظام المراقبة القابل للنقل سيكون لا غنى عنه.

3.A1 محطة المراقبة المتنقلة

يمكن تركيب نظام المراقبة المتنقل وتشغيله في مركبة مراقبة أثناء تحركها أو في مواقع ثابتة. ويتم استعمال هذا النظام لمراقبة الطيف، وتوجيه الإشارات وتحديد اتجاه مصادر التداخل أو المرسلات الأخرى المعنية، وكذلك اختبار البيئة الكهرمغنطيسية في مناطق محددة خلال الأحداث الكبرى.

4.A1 محطة المراقبة الجوية

نظام المراقبة الجوي هو نظام مساعد لنظام المراقبة المتنقلة، ويُستعمل في مراقبة الطيف وتحديد الاتجاه بطريقة سريعة من خلال استعمال طائرة بدون طيار أو منطاد. ويمكن أن يتجنب النظام بسهولة خسارة الانتشار غير المرغوبة من الأجسام الموجودة على الأرض، ولا يتعين عليه التعامل إلا مع خسارة الانتشار في خط البصر. ومع ذلك، فإن التشغيل غير السليم للطائرة بدون طيار قد يسبب مخاوف أمنية للأجسام الطائرة مثل الطائرات، ولذلك نشجع بقوة على الامتثال للقانون واللوائح ذات الصلة بشأن تشغيل الطائرات بدون طيار.

5.A1 محطة المراقبة المحمولة

نظام المراقبة المحمول هو نظام مناسب ومفيد في تحديد اتجاه مصادر التداخل أو المرسلات المعنية في مراقبة الميل الأخير. ويتكون النظام على الأقل من هوائي شامل الاتجاهات، وهوائي اتجاهي، وLNA (أو LNB)، ومحلل للطيف.

الملحق 2

أنساق بيانات التقويم الفلكي للسواتل

1.A2 نسق TLE

إن TLE عبارة عن مجموعة من خطي بيانات يسردان العناصر المدارية التي تصف الوقت والتنسيق والموقع والسرعة لجسم ما يدور حول الأرض بستة من عناصر كبلر. ويكون تمثيل بيانات TLE محدداً لنماذج الاضطرابات المبسطة (SGP وSGP4 وSDP4 وSGP8 وSDP8)، وبالتالي فإن أي خوارزمية تستعمل TLE كمصدر للبيانات ينبغي أن تنفذ أحد نماذج الاضطراب المبسطة من أجل حساب حالة جسم ما بشكل صحيح في الوقت المطلوب.

وتتتبع الشبكة الأمريكية لمراقبة الفضاء جميع الأجسام القابلة للكشف في المدار الأرضي، وتنشئ TLE مقابل لكل جسم، وتجعل مجموعات TLE للأجسام غير المصنفة متاحة لعامة الجمهور من موقع تدعمه على الإنترنت، وهو Space Track. ونسق TLE هو معيار بحكم الواقع لتوزيع العناصر المدارية لجسم يدور حول الأرض.

ويمكن أن تتضمن مجموعة TLE خط عنوان يسبق بيانات العنصر. والعنوان غير مطلوب لأن كل خط بيانات يحتوي على رمز فريد لتحديد الجسم.

ويكون نسق TLE كالتالي:

ISS (ZARYA)

1 25544U98067A 08264.51782528 -.00002182 00000-0 -11606-4 0 2927

2 25544 51.6416 247.4627 0006703 130.5360 325.0288 15.72125391563537

الجدول 1-A2

وصف نسق TLE

رقم التسلسل	رقم موقع الرمز	الوصف	مثال
السطر 1			
1-1	1	رقم خط بيانات العنصر	1
2-1	2	مسافة	
3-1	7~3	رقم الساتل	25544
4-1	8	الفئة (U = غير مصنف)	U
5-1	9	مسافة	
6-1	11~10	الرقم الدولي المميز (آخر رقمين من سنة الإطلاق)	98
7-1	14~12	الرقم الدولي المميز (رقم الإطلاق في السنة)	067
8-1	17~15	الرقم الدولي المميز (جزء من الإطلاق)	A
9-1	18	مسافة	
10-1	20~19	السنة الزمنية (آخر رقمين من السنة)	08
11-1	32~21	الزمن (اليوم من السنة والجزء من اليوم)	264.51782528
12-1	33	مسافة	
13-1	43~34	مشتقة من الدرجة الأولى لوسيط الحركة مقسوماً على 2	.00002182−
14-1	44	مسافة	
15-1	52~45	مشتقة من الدرجة الثانية لوسيط الحركة مقسوماً على 6 (تُفترض فاصلة عشرية)	00000-0
16-1	53	مسافة	
17-1	61~54	بند السحب BSTAR (تُفترض فاصلة عشرية)	11606-4−
18-1	62	مسافة	
19-1	63	الرقم 0 (أصلاً كان ينبغي أن يكون "نسق التقويم الفلكي")	0
20-1	64	مسافة	
21-1	68~65	رقم تحديد العنصر، ويزيد عندما يتم توليد TLE جديد لهذا الجسم	292
22-1	69	المجموع التدقيقي (Modulo 10) (حروف، مسافة خالية، نقاط، علامات الزائد = 0، علامات الناقص = 1)	7

الجدول 1-A2 *(تتمة)*

رقم التسلسل	رقم موقع الرمز	الوصف	مثال
الخط 2			
1-2	1	رقم الخط	2
2-2	2	مسافة	
3-2	7~3	رقم الساتل	25544

رقم التسلسل	رقم موقع الرمز	الوصف	مثال
4-2	8	مسافة	
5-2	16~9	الميل (بالدرجات)	51.6416
6-2	17	مسافة	
7-2	25~18	الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة (بالدرجات)	247.4627
8-2	26	مسافة	
9-2	33~27	انحراف المركز (تُفترض فاصلة عشرية)	0006703
10-2	34	مسافة	
11-2	42~35	زاوية الحضيض (بالدرجات)	130.5360
12-2	43	مسافة	
13-2	51~44	وسيط الحالات الشاذة (بالدرجات)	325.0288
14-2	52	مسافة	
15-2	63~53	وسيط الحركة [لفات في اليوم]	15.72125391
16-2	68~64	رقم اللفة في الزمن [لفات]	56353
17-2	69	المجموع التدقيقي (Modulo 10)	7

الملحق 3

مراقبة التداخل الناتج عن السواتل في النطاقات الموزعة لخدمة الفلك الراديوي على أساس أولي

1.A3 مقدمة

يتطلب الهوائي الذي يتعين استعماله في قياسات التداخل ما بعد الإطلاق القدرة على تتبع السواتل، والكسب (عادة 40 dBi)، ومستقبلات منخفضة الضوضاء نسبياً. ونظراً لأن قيم العتبات الواردة في التوصية ITU-R RA.769 محددة بالنسبة لإدخال فص جانبي قدره 0 dBi وليس لإدخال حزمة رئيسية، يمكن لنظام مراقبة بهذه المواصفات أن يكشف بسرعة عن إشارات التداخل بنسبة تداخل إلى الضوضاء مناسبة. ولتجنب إدخال الأدوات غير المرغوب فيها، يجب أن يكون مسار إشارة المستقبل خطياً إلى حد كبير.

ويتم وصف طريقة الحصول على البيانات في الفقرة 2.A3. وترد مستويات الإشارة والعتبات المطلوبة في الفقرة 3.A3. ويحتاج هوائي المراقبة إلى معايرة جيدة، باستعمال مصادر راديوية سماوية قوية من SPDF المعروفة. ويرد وصف هذا الإجراء في الفقرة 4.A3. وأخيراً، يرد وصف الإجراء الخاص بتحديد تداخل الترددات الراديوية (RFI) في الفقرة 5.A3.

2.A3 الحصول على البيانات

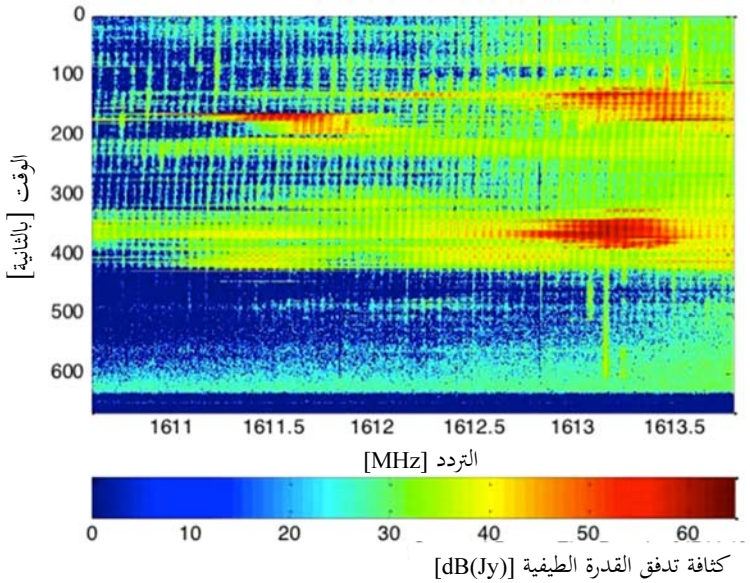
تُجرى قياسات لتحديد خسارة البيانات في شكل سلسلة زمنية لقياسات N مع فترة زمنية Δt يغطي قنوات التردد M بعرض نطاق Δf.

وأفضل طريقة للحصول على البيانات هي استعمال محلل طيف متعدد القنوات، مثل مستودع المراشيح الرقمية، بمئات إلى آلاف من قنوات التردد المتزامنة والمنعزلة بشكل جيد. وينبغي أن يوفر ذلك تغطية متزامنة لنطاق علم الفلك الراديوي بالكامل. وفي الممارسة العملية، تكون معدلات البيانات النمطية حوالي طيف واحد في الثانية، على الرغم من أنه قد تكون هناك حاجة إلى معدلات أعلى في بعض الحالات، لالتقاط المدى الكامل للجداول الزمنية للتداخل.

ويُعرض شكل نمطي للبيانات الملحوظة بعد المعايرة في الشكل 18 أدناه. وفي هذه الحالة، كانت العتبة المحددة للخط الطيفي في التوصية ITU-R RA.769 قدرها −238 dB(W/m^2/Hz) أو +22 dBJy ((1Jy = 10^{-26} (W/m^2/Hz)). ولا يستعمل النطاق الوارد في هذا المثال في الرصدات المستمرة.

الشكل 18

مخطط شغل الوقت–التردد في نطاق خدمة الفلك الراديوي MHz 1613,8-1610,6



وفترة القياس قدرها ثانية واحدة وعرض نطاق قناة القياس قدره 6,1 kHz. ويحتوي هذا الرسم البياني على N = 630 سجل بيانات وM = 420 قناة طيفية داخل نطاق خدمة الفلك الراديوي (RAS).

شكر وتقدير: تم الحصول على هذه البيانات في محطة الرصد الساتلي في ليهايم/ألمانيا التي تديرها وكالة الشبكة الاتحادية (Bundesnetzagentur) باستعمال جهاز قياس الطيف الخاص بمعهد Max Planck InstitutfürRadioastronomie الألماني.

وأثناء التجهيز، يمكن حساب متوسط (تكديس) سجلات البيانات الفردية من أجل تحقيق حساسية أعلى. وبالمثل، قد يكون لنظام المراقبة عروض قنوات طيفية أضيق من عروض النطاق الطيفية المرجعية الواردة في التوصية ITU-R RA.769، التي تتراوح ما بين 10 kHz تحت 1 GHz إلى 1 MHz فوق 60 GHz، طالما يتم تحويل عرض النطاق الترددي بشكل مناسب خلال التحليل لتحديد مستوى التداخل.

3.A3 مستويات وعتبات الإشارات

كثيراً ما تُخفى الإشارات التي تستقبلها محطة المراقبة من المصادر الراديوية للمعايرة ومن البث غير المرغوب من الساتل في ضوضاء الرصدات القصيرة الفردية، ولكن يمكن التعرف عليها بعد جمع رصدات متعددة. وبسبب خصائص الضوضاء البيضاء لكل من نظام الاستقبال والسماء، فإن استعمال عمليات التكامل الأطول يقلل متوسط الجذر التربيعي لمستوى الضوضاء ΔT من أجل القياس على النحو التالي:

$$\Delta T = T_{sys} / \sqrt{(\Delta t \Delta f)} \quad (1)$$

حيث تكون T_{sys}، لأغراض المعادلة (1)، هي درجة حرارة ضوضاء النظام، وΔt هي الوقت الإجمالي الذي يتم على أساسه حساب متوسط الرصدات الفردية، وΔf هو عرض النطاق الذي يتم على أساسه حساب متوسط قنوات قياسات الطيف الفردية.

ويستند التقييم الكمي لنسبة خسارة البيانات في نطاقات خدمة الفلك الراديوي إلى تحديد إشارات التداخل في سجلات البيانات التي تزيد عن مستويات التداخل الضار الواردة في التوصية ITU-R RA.769. وتستند هذه المستويات إلى فترة زمنية مرجعية محددة جيداً تبلغ 000 2 ثانية (حوالي 33 دقيقة) وعرض نطاق مرجعي للقناة محدد جيداً (Δf_{ref}) أو عرض نطاق مرجعي مستمر (Δf_b).

وتُستمد مستويات كثافة التدفق T_{spec} وT_{cont} التي يتعين استعمالها خلال تقييم خسارة البيانات في نطاقات خدمة الفلك الراديوي على التوالي من قيم الخط الطيفي لكثافة تدفق القدرة الطيفية *spfd* ضيقة النطاق (لاحقة سفلية للطيف) أو قيم كثافة تدفق القدرة الطيفية *spfd* من الرصدات المتواصلة للنطاق العريض (لاحقة سفلية للاستمرار). ويتعين تعديل هذه القيم لتتوافق مع معلمات عرض النطاق والمدة ذات الصلة المدرجة في التوصية ITU-R RA.769:

$$T_{spec}(\Delta t, \Delta f) = spfd_{spec}(\text{RA.769, table 2}) + 5 \log ((\Delta f_{ref} / \Delta f)(2000/\Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2\text{/Hz)}) \tag{2a}$$

$$T_{cont}(\Delta t, \Delta f) = spfd_{cont}(\text{RA.769, table 1}) + 5 \log ((\Delta f_b / \Delta f)(2000/\Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2\text{/Hz)}) \tag{2b}$$

حيث 000 2 ثانية هي الفترة الزمنية المرجعية. وبالنسبة إلى رصدات الخط الطيفي، فإن القيمة التي يتعين استعمالها بالنسبة إلى Δf_{ref} تساوي عرض نطاق القناة المبين في التوصية ITU-R RA.769. وبالنسبة إلى الرصدات المستمرة، يكون عرض النطاق المرجعي Δ_{fb} هو عرض النطاق الموزع لخدمة الفلك الراديوي في النطاقات حتى 60 GHz و8 GHz لجميع نطاقات التردد الأعلى (انظر التوصية ITU-R RA.769).

وتستند مستويات العتبات الواردة في التوصية ITU-R RA.769 إلى إشارات تمثل 10 في المائة من تقلبات الضوضاء المدمجة في نظام الكشف باستعمال كسب قدره 0 dBi ودرجات حرارة نظام الفلك الراديوي الواردة في التوصية. ويلزم تصحيح عتبات الكشف الخاصة بكسب هوائي المراقبة فوق 0 dBi، ولنسبة درجات حرارة النظامين (انظر المعادلة (1))، على النحو التالي.

وتكون مستويات الدخول للحزمة الرئيسية بهوائي المراقبة لإشارة مسببة للتداخل مساوية لمستويات عتبة التوصية ITU-R RA.769:

$$S_{spec}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log (T_{sys,ref}/T_{sys,\text{mon}})] + T_{spec}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2\text{/Hz)}) \tag{3a}$$

$$S_{cont}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log (T_{sys,ref}/T_{sys,\text{mon}})] + T_{cont}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2\text{/Hz)}) \tag{3b}$$

وتستمد مستويات $T_{spec}(\Delta t, \Delta f)$ و$T_{cont}(\Delta t, \Delta f)$ الواردة في التوصية ITU-R RA.769 من المعادلتين (2a) و(2b)، ويعبر عن الكسب الأمامي G لهوائي المراقبة بوحدة dB. وتعكس البنود الواردة في المعادلتين (3a) و(3b) الفرق بين درجة حرارة النظام المبينة في التوصية ITU R RA.769 ($T_{sys,ref}$) ودرجة حرارة نظام المراقبة ($T_{sys,\text{mon}}$).

4.A3 معايرة النظام

تنتج قياسات هوائي المراقبة بيانات بوحدات من درجة حرارة الهوائي (T_A). ويتم تحويلها إلى وحدات كثافة تدفق القدرة الطيفية (dB(W/m^2/Hz)) أو وحدات (10^{-26} (W/m^2/Hz)) جانسكي. ويجب أن تكون عوامل التحويل هذه معروفة بدقة كدالة للتردد. ويتمثل إجراء تحديد المعايرة في:

1) إجراء رصدات ON في نطاق التردد المرغوب لعدد قليل من المصادر المستمرة السماوية القوية، كل منها بكثافة تدفق معروفة (بوحدات جانسكي)، مثل Centaurus A أو Virgo A أو غيرها من عوامل المعايرة القوية؛

2) إجراء رصدت OFF لكل عامل معايرة في قطعة قريبة من السماء "الخالية" لتحديد خط أساس الإشارة الصفرية.

ويتم الحصول على عامل التحويل، بوحدات جانسكي/درجة حرارة الهوائي (k)، عن طريق قسمة قوة المصدر بوحدات جانسكي بفارق الإشارة المقيس (T_A(ON) – T_A(OFF)). وتعطي معلمة الحساسية هذه عدد وحدات جانسكي المطلوب لإنتاج إشارة كلفين واحدة في محطة المراقبة. ويمكن تقديم كل من قوة المصدر الراديوي والمستويات الضارة بوحدات جانسكي.

5.A3 تحديد الترددات الراديوية (RFI)

ينبغي أن تكون مستويات التداخل المتوسطة والذروة داخل نطاق خدمة الفلك الراديوي أدنى من مستويات الخط المستمر والخط الطيفي على التوالي الواردة في التوصية ITU-R RA.769. وإذا لم تكن كذلك، تُحسب على أنها خسارة في البيانات. وجدير بالملاحظة أن نطاقات خدمة الفلك الراديوي في هذا التقرير مصنفة على أنها خط طيفي فقط، أو مستمرة فقط، أو كليهما.

وفي حالة استعمال خط طيفي، ينبغي تقييم جميع قنوات عرض النطاق Δf الموجودة في نطاق خدمة الفلك الراديوي بشكل مستقل للتحقق من وجود تداخل أعلى العتبة الضارة للخط الطيفي باستعمال المعادلة (2a). ويجب أن تقع الذروة دون المستوى الضار في كل قناة. وفي حالة الاستعمال المستمر، ينبغي تقييم متوسط مستوى التداخل على النطاق بأكمله باستعمال المعادلة (2b).

وبعد معايرة سجلات البيانات والتحويل من درجة حرارة الهوائي (K) إلى وحدات كثافة التدفق، ينبغي تقييم سجل بيانات كل فاصل للتحقق من وجود تداخل يتجاوز مستويات العتبة الضارة المقابلة للخط الطيفي أو الخط المستمر (انظر المعادلتين (2a) و(2b)). وينتج عن هذا الإجراء مخطط لشغل الوقت–التردد للقياسات (مخطط الشلالات) بأبعاد N سجلات وM قنوات طيفية. والشكل 18 مثال على قياس تمت معايرته للتداخل المتغير بسرعة خلال مرور الساتل.

وتبث المرسلات المسببة للتداخل بتمديد التداخل الطيفي مستويات قدرة منخفضة عبر نطاق عرض كبير. ويتعين أن تغطي قياسات ON-OFF للتداخل بتمديد الطيف عرض نطاق كاف للكشف عن تعزيز كثافة تدفق القدرة الطيفية (spfd).

وبوجه عام، ينبغي أن تكون الفترة الزمنية للقياس قصيرة بما فيه الكفاية للكشف عن تغيرات التوقيت وخصائص الانقطاع للإشارة المسببة للتداخل. غير أنه عندما يكون المرسل المسبب التداخل مستمراً ويستعمل تغير الترددات أو كنس الترددات، فقد يؤدي استعمال فترة زمنية قصيرة إلى ترك إشارات تداخل دون عتبة الكشف. وفي هذه الحالة، تكون هناك حاجة إلى قياس متكامل مع فترة زمنية تغطي فترة التغير أو دورة الكنس.

_____